

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**JACKSON LUIS SCHIRIGATTI**

**Recomendações de melhoria em uma metodologia de  
seleção de sistemas de medição**

**CURITIBA**

**2011**

**JACKSON LUIS SCHIRIGATTI**

**RECOMENDAÇÕES DE MELHORIA EM UMA METODOLOGIA DE SELEÇÃO  
DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO**

**Dissertação apresentada como requisito parcial à  
obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Elétrica, Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Elétrica - PPGEE, Departamento de  
Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia,  
Universidade Federal do Paraná.**

**Orientador: Prof. José Manoel Fernandes, Ph.D.**

**CURITIBA**

**2011**

## TERMO DE APROVAÇÃO

JACKSON LUIS SCHIRIGATTI

### RECOMENDAÇÕES DE MELHORIA EM UMA METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal do Paraná.

Orientador:



---

Prof.º José Manoel Fernandes, Ph.D.  
Departamento de Engenharia Elétrica - UFPR



---

Prof.º Gustavo H.C. Oliveira, Dr.  
Departamento de Engenharia Elétrica -UFPR



---

Prof.º Gideon Villar Leandro, Dr.  
Departamento de Engenharia Elétrica – UFPR



---

Prof.º Armando Albertazzi G. Jr, Dr.  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Laboratório de Metrologia e Automação - UFSC

Curitiba, 24 de agosto de 2011.

Esta dissertação é dedicada a todos aqueles que  
participaram ou contribuíram para a sua realização.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela oportunidade e inspiração nos momentos difíceis durante o desenvolvimento desta dissertação.

Em especial a minha esposa Angela Cristina Roncaglio Schirigatti pelo apoio e compreensão e ao meu filho Felipe Augusto Roncaglio Schirigatti que me deu forças para continuar nos momentos mais difíceis, pois para ele, que teve a coragem de nos deixar tão cedo e nos mostrar que não existem barreiras ou perdas na vida, mas apenas a aprendizagem e uma vida eterna.

Ao Professor e orientador, José Manoel Fernandes pelo apoio e orientação acadêmica e ao Prof. Armando Albertazzi G. Jr (UFSC) pela participação na banca de defesa desta dissertação.

## **RESUMO**

Esta dissertação apresenta recomendações de melhorias na metodologia de seleção de sistemas de medição de Albertazzi e SOUSA (2008). A metodologia original tem como princípio básico a composição de duas etapas: de “requisição” (conjunto de parâmetros que caracterizam a tarefa de medição) e da etapa de “processo de seleção” (composto de informações técnicas, logísticas e econômicas formuladas em planilhas de avaliação, dos critérios de avaliação com pesos específicos determinados pelo metrologista e da análise comparativa dos sistemas candidatos). O presente trabalho descreve o método e sugere recomendações com uma ênfase mais criteriosa, baseada em teorias e recomendações bibliográficas de diversos autores, bem como recomendações normativas, incluindo as sugestões: adição de parâmetros de seleção (requisitos metrológicos), a implementação do sistema de garantia da qualidade metrológica, aquisição de informações dos requisitos metrológicos, visão sistêmica do processo de qualidade metrológica, auditoria e programas interlaboratoriais, e a obtenção e manutenção das informações dos Sistemas de Medição e calibrações, sendo todas as recomendações direcionadas a conformidade requerida do processo de medição.

Palavras-chave: sistemas de medição; requisitos metrológicos; sistema de garantia da qualidade.

## **ABSTRACT**

This dissertation brings additional recommendations to improve a measurement system selection methodology developed by Albertazzi and SOUSA (2008). The standard methodology has two stages: the "requirements" (set of parameters characterizing the measurement task) and the stage "selection process" stage (consisting of technical, logistical and economic formulated in spreadsheets evaluation, the evaluation criteria with specific weights determined by metrology and comparative analysis of candidate systems). This work holds a description of the method and makes recommendations with an emphasis on more rigorous, based on bibliographical theories and recommendations of several authors, as well as policy recommendations, including suggestions: adding initial parameters for selection (metrological requirements), implementation, system assurance metrological quality, acquisition of information in the metrological requirements, systemic view of the metrological quality process, audit, and interlaboratory programs, and obtaining and maintaining the information systems of measurements and calibrations, begin all recommendations directed to the required compliance measurement process.

Key-words: measurement systems; metrological requirements; criteria for measurement, system quality assurance.

## LISTA DE FIGURAS

FIG. 1 – MÉTODO DE PESQUISA .....	21
FIG. 2 - FORMAS DE VARETA DE PROFUNDIDADE. (A) VARETA DE PROFUNDIDADE; (B) VISOR; (C) CALIBRE DE GANCHO. ....	32
FIG. 3 - ESQUEMA DE UM ARRANJO DE VISOR DE VIDRO.....	32
FIG. 4 – VISOR DE NÍVEL DE VIDRO .....	33
FIG. 5- VISOR DE VIDRO TUBULAR COM VÁLVULAS DE BLOQUEIO NA PAREDE DO TANQUE. ....	33
FIG. 6 - BÓIA .....	34
FIG. 7 - ARRANJO TÍPICO DE UM MECANISMO DE INDICAÇÃO DE NÍVEL COM BÓIA E FITA OU CORRENTE .....	34
FIG. 8 – VISTA EM CORTE DE UM ARRANJO COM BÓIA PARA INDICAÇÃO DE NÍVEL DE INTERFACE EM RESERVATÓRIOS ABERTOS. ....	35
FIG. 9- MEDIDOR DE NÍVEL TIPO BÓIA EM UM TANQUE FECHADO .....	36
FIG. 10 - TRANSMISSOR DE NÍVEL TIPO BÓIA .....	36
FIG. 11- MEDIÇÃO POR PRESSÃO HIDROSTÁTICA .....	37
FIG. 12 – SISTEMAS DE INDICAÇÃO DE NÍVEL DE LÍQUIDO POR EXPURGAÇÃO DE BOLHAS. (A) CORTE DE UM ARRANJO SIMPLES PARA INDICAÇÃO DE NÍVEL DE LÍQUIDO. (B) SISTEMA DE CONTROLE DE NÍVEL DE LÍQUIDO POR EXPURGAÇÃO TOTALMENTE PNEUMÁTICO, QUE MANTÊM O NÍVEL CONSTANTE EM UM RECIPIENTE DE LÁTEX E TORNA CONSTANTE A VAZÃO DE SAÍDA. CORTESIA HONEYWELL, INC. ....	37
FIG. 13 – INSTRUMENTOS CAPACITIVOS DE INDICAÇÃO DE NÍVEL. (A) SISTEMA LEVEL-TEK MODELO 303 DE DETECÇÃO E CONTROLE DE NÍVEL POR CAPACITÂNCIA. (B) VISTA TRANSVERSAL DE UM SISTEMA DE INDICAÇÃO CONTÍNUA DO NÍVEL DE CAPACITÂNCIA. ....	39
FIG. 14 – MEDIDOR CAPACITIVO.....	39
FIG. 15- MEDIDOR CAPACITIVO NO TANQUE.....	40
FIG. 16 – (A) DETECTOR DE NÍVEIS TIPO LIGA/DESLIGA RADIOATIVO; (B) CALIBRE RADIOATIVO INDICADOR DE NÍVEIS.....	40
FIG. 17- SISTEMA DE MEDIÇÃO POR RADIAÇÃO (RAIOS GAMA) .....	41
FIG. 18 - FONTE DE RAIOS GAMA MONTADO PERPENDICULARMENTE FORA DA PAREDE DE UM TANQUE. ....	41
FIG. 19- CÂMARA DE IONIZAÇÃO.....	41
FIG. 20- MEDIÇÃO POR ULTRASSOM.....	42
FIG. 21-MEDIDOR DE ULTRASSOM .....	42
FIG. 22 – INDICADOR DE NÍVEL ULTRASSÔNICO.....	43
FIG. 23 – TERMÔMETRO EM ÂNGULO. (A) ÂNGULO DE 135° À ESQUERDA E (B) ÂNGULO DE 90° À DIREITA. ....	44
FIG. 24 – UM TUBO DE VENTURI TÍPICO EM CORTE. ....	46
FIG. 25 – VISTA EM CORTE DE UM TUBO DE VENTURI DE INSERÇÃO .....	47
FIG. 26 – VISTA EM CORTE DE UM BOCAL DE FLUXO .....	47
FIG. 27 – VISTA EM CORTE DE UMA INSTALAÇÃO TÍPICA .....	47
FIG. 28- ESQUEMA DO MÉTODO DE SELEÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE ALBERTAZZI E SOUSA, 2008 – VÁLIDO PARA QUALQUER SISTEMA DE MEDIÇÃO. ....	49
FIG. 29 – ADEQUAÇÃO FÍSICA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO AO MENSURANDO .....	55
FIG. 30 – ESTRUTURA ATUAL DA FAMÍLIA DE NORMAS ISO 9000 .....	65
FIG. 31 – ELEMENTOS OU REQUISITOS METROLÓGICOS GERALMENTE ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE IMPLEMENTAÇÃO OU IMPLANTAÇÃO DO SGQM .....	69
FIG. 32 – GARANTIA DA QUALIDADE E GARANTIA DA QUALIDADE METROLÓGICA INSERIDA EM UM SISTEMA DE QUALIDADE GENÉRICO.....	72



<i>FIG. 33 – ESQUEMA DA ANÁLISE DA 1ª À 5ª RECOMENDAÇÃO, APARTIR DA IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE GARANTIA DA QUALIDADE METROLÓGICA COM A AQUISIÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO ATÉ A OBTENÇÃO DA CONFIABILIDADE METROLÓGICA REQUERIDA. AS VÁRIAS RECOMENDAÇÕES: A PRIMEIRA RECOMENDAÇÃO SUGERE A OBTENÇÃO DO SISTEMA DE GARANTIA DA QUALIDADE METROLÓGICA, A SEGUNDA RECOMENDAÇÃO SUGERE O CONHECIMENTO SISTÊMICO, A TERCEIRA RECOMENDAÇÃO SUGERE A OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES METROLÓGICAS E A QUARTA E QUINTA RECOMENDAÇÃO SUGEREM A OBTENÇÃO DA CONFIABILIDADE METROLÓGICA. ....</i>	<i>79</i>
<i>FIG. 34- LINHA RETA IDEAL E ERRO DE LINEARIDADE .....</i>	<i>85</i>

## LISTA DE TABELAS

<i>TABELA 1- PARÂMETROS QUE CARACTERIZAM A TAREFA DE MEDIÇÃO .....</i>	<i>50</i>
<i>TABELA 2 – PLANILHA DE AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS TÉCNICOS .....</i>	<i>52</i>
<i>TABELA 3 – PLANILHA DE AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS LOGÍSTICOS .....</i>	<i>53</i>
<i>TABELA 4 – PLANILHA DE AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ECONÔMICOS .....</i>	<i>53</i>
<i>TABELA 5- ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO CANDIDATOS .....</i>	<i>62</i>

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - TIPOS DE INSTRUMENTO E CAMPO DE APLICAÇÃO DOS MESMOS. ....	30
QUADRO 2 – TIPO DE MEDIÇÃO X TIPO DE INSTRUMENTOS X APLICAÇÕES (UM RESUMO DAS MEDIÇÕES DE NÍVEL DIRETA E INDIRETA – MECÂNICA E ELETRÔNICA - DESTA REVISÃO TEÓRICA BASEADA NOS CONCEITOS E FUNDAMENTOS DE SOINSON (2002) E BOLTON (2005)). ....	30

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

SM	Sistema de Medição.
SGQM	Sistema da Garantia da Qualidade Metrológica.
IVM	Vocabulário Internacional de Metrologia

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS .....	13
1.1 INTRODUÇÃO .....	13
1.2 OBJETIVOS .....	18
1.2.1 Objetivo Geral.....	18
Objetivos específicos; .....	18
1.3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	18
1.3.1 Pesquisa Exploratória .....	19
1.3.2 Pesquisa Bibliográfica .....	20
1.3.3 Método de triangulação .....	22
1.4 A COLETA DE INFORMAÇÕES .....	23
1.5 JUSTIFICATIVAS DA SELEÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO.....	23
1.6 JUSTIFICATIVAS DO PORQUE RECOMENDAR MELHORIAS NA PROPOSTA DE ALBERTAZZI E SOUSA .....	24
1.7 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO .....	25
1.8 COMO O TRABALHO ESTÁ ORGANIZADO? .....	25
CAPÍTULO 2 – REVISÃO TEÓRICA.....	27
2.1 MEDIÇÃO E A METROLOGIA .....	27
2.1.1 Medições de Nível para Sólidos e Fluidos.....	28
2.1.2 Tipos de Medições de Nível .....	29
2.1.3 Tipos de Medições de Tempo e Frequência .....	43
2.1.4 Tipos de Medições de Temperatura.....	44
2.1.5 Tipos de Medidores Elétricos .....	45
2.1.5 Tipos de Medidores de Vazão .....	46
2.2 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO NA METODOLOGIA DE SERENO E SHEREMETIEFFI.....	48
2.3 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E PARÂMETROS PARA A SELEÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO NA METODOLOGIA DE ALBERTAZZI E SOUSA .....	49
2.3.1 Caracterização da Tarefa de Medição por Albertazzi e Sousa para definição dos parâmetros (requisitos) para o processo de seleção: .....	50
2.3.2 Esquema do método de seleção de sistemas de medição de ALBERTAZZI E SOUSA: .....	51
2.3.3 Processo de Seleção do Sistema de Medição.....	51
2.4 FUNDAMENTOS DA QUALIDADE, GARANTIA DA QUALIDADE E DAS NORMAS ISO 10012-1/1993 E ISO 9001/2/3 .....	62
2.4.1 Qualidade e Sistemas de Gestão da Qualidade .....	62
2.4.2 Estrutura atual da família de normas ISO 9000 .....	64
2.4.3 Confiabilidade de processos de medição na indústria e as recomendações de Normas da Garantia da Qualidade.....	65
CAPÍTULO 3 – PROPOSTA DE MELHORIA DE SELEÇÃO DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO (RECOMENDAÇÕES) .....	68
3.1 FOCO NO SISTEMA DE GARANTIA DA QUALIDADE METROLÓGICA .....	68
3.1.1 Metrologia na Garantia da Qualidade e os requisitos metrológicos .....	69
3.1.2 Norma ISO 10012-1/1993 Requisitos de garantia da qualidade para equipamentos de medição .....	72

3.1.3 Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica segundo a ISO 9001/2/3.....	73
3.1.4 Síntese das recomendações do Sistema de Garantia da Qualidade metrológica na Metodologia de Seleção de Sistemas de Medição por ALBERTAZZI e SOUSA .....	75
3.2 RECOMENDAÇÕES COM FOCO NO DESEMPENHO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO, MÉTODOS DE MEDIÇÃO E DO OPERADOR.....	80
3.2.1 Erros e Incerteza de medição .....	80
3.2.2 Desempenho de Instrumentos de Medição e Método.....	84
3.2.3 Síntese das recomendações do desempenho de instrumentos e métodos de medição e operador na metodologia de seleção de Albertazzi e SOUSA.....	87
CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS. ....	89
4.1 CONCLUSÕES .....	89
4.2 TRABALHOS FUTUROS .....	92
REFERENCIAS .....	94

# CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

## 1.1 INTRODUÇÃO

Com a competitividade atual das indústrias, os sistemas de medição ou instrumentos de medição [Segundo CAMPILHO (2000, p.24), “um sistema de medição é um conjunto completo de instrumentos de medição e outros dispositivos montados para executar uma medição específica” e segundo ALBERTAZZI e SOUSA(2008), “o Sistema de medição é um meio pelo qual as medições são efetuadas. É construído de forma que permita a comparação do mesurando com a unidade de medição”], são demasiadamente requeridos em sua confiabilidade de medição e devem ser escolhidos para cada aplicação. “Para que o fabricante de instrumentos ou o engenheiro de processos e seus auxiliares façam a melhor escolha para a aplicação, devem possuir um conhecimento profundo tanto do instrumento quanto do sistema em operação.” (SOINSON, 2002).

A necessidade de aquisição de um sistema de medição é o reflexo da necessidade de uma medição exata, mas nem sempre a confiabilidade requerida no processo de medição é retratada corretamente. Isto é devido à ausência do conhecimento dos instrumentos de medição, do processo de medição, de uma visão sistêmica metrológica, de uma cultura metrológica, de treinamentos e capacitação ou da própria ausência de qualidade ou de estratégias de qualidade na indústria.

TORRENTA (2002, p.9, grifo nosso) comenta da importância e a noção da escolha de um instrumento [ou sistema de medição] para a finalidade desejada, “pois de acordo com a robustez, sensibilidade e precisão, o instrumento tem o seu valor de aquisição. [...] [e sugere:] Faça uma **escolha criteriosa** de seu instrumento e acessórios para obter um bom resultado na sua medição.”.

Segundo CAMPILHO (2000) a observação, a medição, o controle, o cálculo e o registro de dados, bem como a instrumentação associada, são atributos e meios fundamentais em qualquer ramo de engenharia. Podemos afirmar que estes atributos são, em conjunto ou isoladamente, os objetivos principais de um sistema de instrumentação ou de um aparelho de medição isolado. Na concepção de um sistema de medição, onde se pretende avaliar quantitativamente uma determinada grandeza, estão envolvidas múltiplas questões, tais como:

Qual o método de medição mais adequado? Como irão ser visualizados ou registrados os dados? Qual a margem de erro admissível? Qual a incerteza da medição? [...].

Deixando clara a diferença entre “erro de medição” e “incerteza de medição” onde neste trabalho, os termos são citados várias vezes:

Segundo ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p.70) explica que: “Erro de medição: é o número que resulta da diferença entre o valor indicado por um SM e o valor verdadeiro do mensurando.”

Segundo FROTA (1999), “a incerteza de medição é um parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão de valores que podem ser razoavelmente atribuído ao mensurando.”.

Algumas destas questões citadas, devem ser abordadas de forma investigativa para obtenção de um sistema de medição adequado, compondo assim neste trabalho a base teórica para a elaboração de determinadas recomendações em uma metodologia já existente na literatura que realize a seleção ideal de diversos tipos de sistemas de medição e/ou instrumentos de medição.

Das poucas metodologias de seleção de instrumentos e/ou sistemas de medição encontradas, como as de SERENO e SHEREMETIEFF (2007) no seu artigo científico: “Guia para Elaboração de um plano de manutenção da Confiabilidade Metrológica de Instrumentos de Medição – Escolha de Instrumentos” e a de ALBERTAZZI e SOUSA (2008) no capítulo 10, em seu livro “Metrologia: Científica e Industrial”, a metodologia de ALBERTAZZI e SOUSA, foi a que transcreve uma maior simplicidade, compreensão e de muitos detalhes a serem investigados (não descartando as demais com relação as suas aplicabilidades). A metodologia de ALBERTAZZI e SOUSA compreende duas fases: a primeira de pré-seleção ou dos parâmetros iniciais da tarefa de medição e a segunda fase referente aos procedimentos propriamente ditos de seleção do sistema de medição.

A respectiva metodologia é aplicada a qualquer tipo de sistema de medição, e na revisão teórica deste trabalho, para fins explicativos e conceituais, são abordados alguns exemplos de Sistemas de Medição como: medidores elétricos, de nível e deslocamento, tempo e frequência e vazão (medição direta e indireta), não se esgotando neste trabalho a gama de Sistemas de Medição existentes na literatura.

Com relação aos medidores elétricos, TORREIRA (2002, p.7), informa sobre as medições elétricas, que: “indiretamente poderão medir e controlar diversos processos físicos que não sejam elétricos, tais como temperatura, vazão, pressão, umidade, velocidade, etc.” e os instrumentos e sistemas de medição segundo TORREIRA (2002) podem ser: “instrumento



estático, multímetro, ferro-móvel, bobina-móvel, eletrodinâmico, de indução, de fio aquecido, de vibração, eletrostático,[...]” e outros. Os instrumentos de medição elétricas comentadas no Cap.2 são os de bobina-móvel.

Com relação à medição de nível, “[...] é uma das variáveis mais comuns e mais amplamente utilizadas em aplicações industriais. A mesma pode ser definida como a determinação da posição de uma interface entre dois meios. Usualmente, um destes meios é líquido, mas pode ser combinações de líquido-sólido ou sólidos. [e outros].” (BEGA, 2003).

Existem muitos sistemas de medição de nível, cada um com suas vantagens e desvantagens. A seleção do mesmo deverá considerar as características específicas de cada aplicação, o tipo de produto cujo nível que se quer medir, a precisão desejada, custos e demais restrições (BEGA, 2003).

“Os níveis podem ser medidos e mantidos por meio de dispositivos mecânicos, de queda de pressão, elétricos ou eletroeletrônicos. O tipo de dispositivo depende do tipo de material contido no recipiente, do tipo de recipiente e da precisão necessária para medir e controlar.” (SOINSON, 2002, p. 261). Estas variáveis dependentes do tipo do dispositivo do sistema de medição é um dos fatores importantes que deve ser considerado nos requisitos metrológicos de aspectos técnicos nas recomendações para a seleção de Sistemas de Medição.

Com relação aos medidores de tempo e frequência, BOLTON (2005) nos diz que: “os sistemas de medição de tempo [cronômetros] podem ser operados mecânica ou eletricamente [eletricamente para uma melhor precisão].”.

Estes e demais tipos de sistemas de medição serão comentados no Cap.2, na revisão teórica deste trabalho, para um melhor esclarecimento da variabilidade dos instrumentos e Sistemas de Medição existentes no mercado. É importante salientar a diferença entre Sistemas de Medição e Instrumentos de medição, conforme ALBERTAZZI e SOUSA (2008. p.91), “o termo instrumento de medição tem sido reservado para denominar sistemas de medição de pequeno porte [ex.: um paquímetro], [...]. A expressão sistema de medição tem sido preferida para descrever, [...], qualquer meio de medição, incluindo desde os instrumentos mais simples àqueles compostos por vários módulos interligados, [...]”. Neste trabalho os instrumentos de medição serão considerados sistema de pequeno porte e o Sistema de Medição em geral será considerado um Sistema de maior porte.

Os instrumentos de medição podem ser classificados pela forma como é realizada as medições, em instrumentos de **medida direta** (medem diretamente a distância do produto que se quer medir e um referencial previamente definido) e **indireta** (determinam a posição da

superfície livre do produto cujo nível se quer medir através da medida de outra grandeza física a ela relacionada) (BEGA, 2003).

Ainda sobre as medidas diretas e indiretas, ALBERTAZZI e SOUSA (2008) afirmam que:

Medições são ditas indiretas quando o valor do mensurando é calculado a partir de operações matemáticas efetuadas envolvendo duas ou mais medidas associadas a diferentes características do mensurando. A determinação da área de um terreno retangular, multiplicando a medida do seu comprimento pela medida da sua largura, é um exemplo de medição indireta. Outro exemplo é a velocidade média desenvolvida por um navio quando é determinada dividindo a distância percorrida pelo tempo necessário para percorrê-la. O mesmo sistema de medição, ou sistemas de medição distintos, pode estar envolvido em medições indiretas.

Nas medições diretas, o sistema de medição já indica naturalmente o valor do mensurando. A medição do diâmetro de um eixo com um paquímetro ou da tensão elétrica de uma pilha com um voltímetro digital são dois exemplos de medição direta.

Outro aspecto importante a ser considerado como fundamentação teórica e base para atingir os objetivos deste trabalho, é destacar a tendência das organizações (cliente e fornecedores) pela procura da qualidade contínua nos processos produtivos e consequentemente metrológicos, atingindo-se metas da qualidade em seus produtos e serviços. Esta procura da qualidade no âmbito metrológico, nada mais é do que a necessidade da confiabilidade metrológica para com os seus produtos que estão sendo fabricados e armazenados, ou seja, é a necessidade da exatidão nas medições efetuadas, na análise, na aquisição e no uso correto dos Sistemas de Medição, bem como o conhecimento, obtenção e aplicação de outros requisitos e fatores metrológicos.

A garantia da qualidade metrológica é tanto aplicada nas organizações privadas como nas públicas, de maneira a obter a confiabilidade metrológica e segundo SILVA (2006, p. 37) apud SILVA (2004, p.31) “declara que a garantia metrológica equivale à credibilidade, uma vez que as medições resultantes das atividades de metrologia legal requerem metodologias técnicas que sejam legalmente aplicáveis.”, ou seja, a garantia metrológica é responsável pela exatidão adequada das medições e faz comprovar a confiabilidade do método utilizado”. Definindo Metrologia Legal, segundo FERRAZ e SILVIA (2008), “é a parte da metrologia relacionada às atividades resultantes de exigências obrigatórias, referentes às medições, unidades de medida, instrumentos de medição e métodos de medição, e que são desenvolvidas por organismos competentes, conforme define o INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E QUALIDADE INDUSTRIAL (2007)”

Ainda segundo (VML, 2003) apud SILVA (2006, p. 18) define o termo garantia metrológica: “é o conjunto de regulamentos, meios técnicos e operações necessárias para garantir a segurança e a exatidão adequadas às medições”.

“Através de associações a outras metodologias, normas, boas práticas de autores da Metrologia Científica e Industrial [...] e entidades normatizadoras, pode-se estabelecer uma proposta de recomendações para a seleção dos sistemas de medição em aplicações industriais com foco no sistema de garantia da qualidade metrológica.” (SCHIRIGATTI, 2011).

Com vistas aos conhecimentos dos Instrumentos e Sistemas de Medição citados, o trabalho proposto através do estudo dos parâmetros e critérios de avaliação da metodologia de ALBERTAZZI e SOUSA e através das considerações de outros autores como SOARES, SOUZA e SOBRINHO, das áreas da qualidade metrológica e do desempenho metrológico, e de recomendações normativas da ISO 9001/2/3, é apresentado no Cap.3, as recomendações (sugestões) de melhorias de como selecionar os sistemas de medição mais adequados.

Pode-se também afirmar através de SCHIRIGATTI (2011, p.14) “[...] que é de grande importância, além de destacar a configuração dos parâmetros iniciais [...], e da elaboração dos critérios de avaliação [...], o cuidado, conforme as Normas e outros autores, da documentação, registro, controle, avaliação das informações das medições, inspeções e ensaios realizados com os SM candidatos ou adquiridos, bem como da capacitação técnica, da cultura metrológica e dos vários requisitos metrológicos”.

Outro ponto importante de destaque no trabalho que converge para a confiabilidade metrológica, através das recomendações apresentadas no Cap.3, é uma ênfase dentro da abordagem da garantia da qualidade metrológica, da capacitação e da educação metrológica, significativamente relacionada à cultura metrológica das empresas.

“A efetiva implementação de uma cultura metrológica global no seio da sociedade requer mais que um mero exercício de treinamento, apenas torna-se exequível pelo suprimento constante de conhecimentos básicos e aplicados de metrologia, destinados não apenas ao cidadão comum detentor do nível educacional mais elementar, como também ao profissional mais especializado, que atua na fronteira do conhecimento conduzindo pesquisas de ponta, influenciando o estado da arte do conhecimento, introduzindo inovações, quebrando paradigmas, avançando os limites do domínio do conhecimento em metrologia.” (CARVALHO; FROTA; FROTA, 2002).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo Geral desta dissertação é propor recomendações de melhorias na metodologia de seleção de sistemas de medição de ALBERTAZZI e SOUSA.

Objetivos específicos;

- i. Efetuar uma revisão dos conceitos de medição e medidores bem como suas aplicações industriais, mostrando a ampla gama de sistemas de medições e suas aplicações que podem ser atendidas pelas recomendações propostas na metodologia de ALBERTAZZI e SOUZA;
- ii. Descrever a metodologia de ALBERTAZZI e SOUSA;
- iii. Propor recomendações sintetizadas e reforçadas da literatura com relação à garantia da qualidade metrológica, do desempenho dos instrumentos de medição, métodos de medição e operador;
- iv. Propor trabalhos futuros de acordo com as recomendações desta proposta.

## 1.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos de pesquisa aplicados neste trabalho envolvem uma pesquisa exploratória a partir da coleta de informações sobre os fundamentos da teoria da medição, sistemas de medição, qualidade, recomendações normativas e das metodologias de seleção dos Sistemas de Medição, compondo assim os objetivos e justificativas, além de efetuar uma composição inicial do material bibliográfico (comentado no item 1.4 – coleta de informações) para a realização da pesquisa bibliográfica (origem das citações e de material para as análises e recomendações deste trabalho). A terceira forma de pesquisa é o método de triangulação, que norteia o método qualitativo e quantitativo, efetuado parcialmente neste trabalho e

compondo-se apenas do método qualitativo. O método de triangulação é somente concluído (através do método quantitativo) nas recomendações de trabalhos futuros, isto devido que, conforme os objetivos deste trabalho, o momento é recomendar através de normas e comentários dos autores da metrologia (sugestões para a melhoria da metodologia citada) e não validá-la quantitativamente em campo ou laboratório.

### 1.3.1 Pesquisa Exploratória

Do ponto de vista dos objetivos a pesquisa realizada na etapa de “elaboração do projeto de pesquisa” é exploratória, pois de acordo com GIL (2002), este tipo de pesquisa visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses.

Segundo SALOMON (1991), a pesquisa exploratória define melhor o problema, proporcionando insights sobre o assunto, e descreve comportamentos ou defini e classifica fatos e variáveis.

Um trabalho é de natureza exploratória quando envolver levantamento bibliográfico ou entrevista com pessoas que tiveram (ou tem) experiências práticas com o problema pesquisado e análise de exemplos que estimulem a compreensão. Possui ainda a finalidade básica de desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias para a formulação de abordagens posteriores. Dessa forma, este tipo de estudo visa proporcionar um maior conhecimento para o pesquisador acerca do assunto, a fim de que esse possa formular problemas mais precisos ou criar hipóteses que possam ser pesquisadas por estudos posteriores (GIL, 1999, p.43).

Segundo LIMA (2008), O uso da pesquisa exploratória é justificado na seguinte situação:

Na etapa de elaboração do projeto de pesquisa. Por quê? A construção dos objetivos que justificam a realização da pesquisa requer conhecimento acerca do que já foi publicado sobre o tema – ou seja, implica investimento em tempo para o pesquisador produzir uma espécie de *estado da arte* sobre o que deseja investigar. Dessa forma, terá condições de identificar, por exemplo, novas possibilidades de interpretação, outras alternativas de aplicação do conhecimento consagrado, aspectos que merecem ser atualizados, conclusões que carecem de revisão, ampliação e/ou aprofundamento etc. Além disso, o domínio de autores, textos e ideias corresponde à matéria-prima que será alicerce do quadro teórico de referência, ou seja, do referencial conceptual e teórico que será explorado nos exercícios de interpretação e análise do material que vier a ser coletado por meio de uma ou mais fontes de consulta. Por último, a literatura consultada contribuirá para

o pesquisador formular critérios de escolha dos recursos metodológicos mais adequados, considerando as especificidades dos objetivos perseguidos.

A pesquisa exploratória (etapa 1 - Fig.1) acontece antes e durante a fase de elaboração do pré-projeto, obtendo informações necessárias para a confecção e amadurecimento das ideias e diretrizes que irão nortear a elaboração do trabalho de pesquisa, tais como: o objetivo geral e os específicos, a própria metodologia de pesquisa, a organização e as justificativas do trabalho.

### 1.3.2 Pesquisa Bibliográfica

Conforme LIMA (2008),

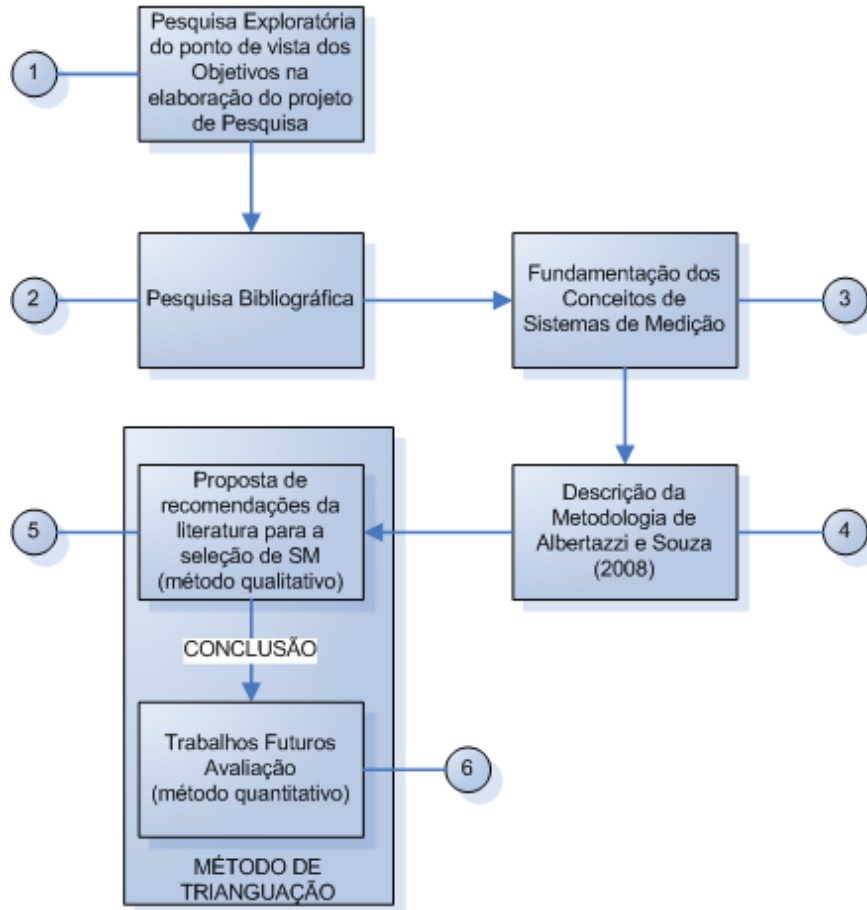
Pesquisa bibliográfica é a atividade de localização e consulta de fontes diversas de informação escrita orientada pelo objetivo explícito de coletar materiais mais genéricos ou mais específicos a respeito de um tema. [...] Pesquisar no campo bibliográfico é procurar no âmbito dos livros, periódicos e demais documentos escritos às informações necessárias para progredir na investigação de um tema de real interesse do pesquisador. [...]

No contexto de pesquisa acadêmica, os textos teóricos assumem uma importância relevante, tanto como apoio para o pesquisador formular e justificar os problemas e as hipóteses que irá explorar como na definição de um método de interpretação e/ou análise da questão tratada (explicitado no conteúdo do quadro teórico da monografia ou do relatório de pesquisa) e no contexto do exercício analítico da problemática. [...] Em uma investigação em que houve efetiva exploração dos recursos da pesquisa bibliográfica, o pesquisador não deveria restringi-la a um único ator nem a uma soma de citações, por mais pertinentes que sejam. Deve, sim, reunir articuladamente um conjunto de autores, preferencialmente aqueles mais renomados na discussão da questão explorada como problema, que em sua produção intelectual tenha publicado conteúdos que possam servir de base para fundamentar uma discussão teórica. Assim, além de localizar, ler, interpretar as idéias do autor, selecionar criteriosamente partes da obra que podem colaborar para o desenvolvimento da investigação em curso e fichar tais conteúdos, o pesquisador deve explorar o material, saber articular as idéias de forma a dispor de elementos que lhe permitam concretizar não apenas um estado de caráter descritivo, mas atingir o nível interpretativo e analítico da questão.

O desenvolvimento deste estudo contempla a realização de uma pesquisa bibliográfica na fundamentação dos conceitos de Medição do tipo direto e indireto, suas aplicações industriais e fundamentos dos sistemas de medição (etapas 2 e 3 - Fig.1). Com base na fundamentação mencionada na etapa seguinte (etapa 4 – Fig.1) realiza-se a descrição e esquematização da metodologia de seleção de sistemas de medição de ALBERTAZZI E SOUSA composta dos parâmetros que caracterizam a tarefa de medição e os critérios de

avaliação para a seleção dos sistemas de medição, conforme mostra a estrutura do método de pesquisa abaixo (Fig.1):

*Fig. 1 – Método de Pesquisa*



*Fonte: autor*

A pesquisa bibliográfica também tem como objetivo estudar as caracterizações da tarefa de medição, os aspectos técnicos, logísticos e econômicos. Desta forma são de Interesse os seguintes temas:

- i. Questões pertinentes à incerteza dos sistemas de medição e suas aplicações;
- ii. Caracterização do erro de medição e a influência do operador;
- iii. O estudo dos sistemas de medição;
- iv. O estudo da calibração de sistemas de medição;

### 1.3.3 Método de triangulação

Segundo PORTOIS (2004) apud LIMA (2008),

Triangulação prevê a interpretação articulada de diferentes pontos de vista com o objetivo deliberado de interpretar, compreender e explicar a complexidade do comportamento humano e, dessa forma ampliar a confiança dos resultados alcançados pela pesquisa realizada. As reflexões de Jick (1979) são igualmente pertinentes pelo fato de o autor destacar que, ao permitirem combinações de abordagens quantitativas e qualitativas, as triangulações tendem a favorecer o estabelecimento de ligações entre descobertas obtidas por meio de diferentes fontes, ilustrá-las e torná-las mais compreensíveis; podem também conduzir a paradoxos, oferecendo novas direções aos problemas pesquisados, permitindo maior aprofundamento do objeto investigado. Consequentemente a triangulação pode trazer como contribuição ao trabalho de pesquisa, combinações para a melhor compreensão daquilo que se pretende investigar. [...] Entre outras vantagens, esse enfoque:

- Ampliar a possibilidade de o pesquisador alcançar algum controle sobre os vieses resultantes do uso de métodos quantitativos por meio da compreensão da perspectiva dos agentes envolvidos no fenômeno investigado (pelo uso do método qualitativo).
- Amplia a possibilidade de identificar variáveis específicas (como o uso do método quantitativo) sem comprometer a formação de uma visão global do fenômeno investigado (resultante do uso do método qualitativo).
- Amplia as condições que favorecem a possibilidade de o pesquisador completar um conjunto de fatos e causas associadas ao emprego de metodologia quantitativa com uma visão da natureza dinâmica da realidade.
- Viabiliza a possibilidade de o pesquisador enriquecer constatações obtidas de condições controladas (típicas dos métodos quantitativos) com materiais obtidos no contexto natural de sua ocorrência (característica dos métodos qualitativos).
- Amplia as condições que favorecem a possibilidade de reafirmar validade e confiabilidade das descobertas conquistadas pela pesquisa concluída com o emprego de técnicas diferenciadas e complementares.

Portanto nas etapas seguintes é apresentada a aplicação do método de triangulação: Na etapa 5 da Fig.1, elabora-se pelo método qualitativo, uma consolidação de recomendações dos métodos pesquisados referente a parametrização da tarefa de medição e os critérios de avaliação e na sequencia (etapa 6 da Fig.1), realiza-se sugestões de trabalhos futuros referente a estruturação e avaliação da metodologia e das recomendações apresentadas - método quantitativo (em laboratório ou em aplicação industrial), fechando a metodologia de triangulação.



## 1.4 A COLETA DE INFORMAÇÕES

A coleta de informações para a elaboração das recomendações de melhorias na metodologia de seleção de sistemas de medição de ALBERTAZZI E SOUSA foi realizada através de documentos cedidos pelo orientador, informações de aulas de Metrologia do curso de Pós-graduação de Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, informações de diversas referências bibliográficas, onde as de maior ênfase foram citadas dos livros de: “Fundamentos de Metrologia científica e industrial” de ALBERTAZZI E SOUSA (2008), “Instrumentação & Controle” de BOLTON (2005), “Instrumentação Industrial” de SOISSON (2002), da “dissertação de Mestrado” de SOARES (1999), “Instrumentos de medida de Sistemas de Instrumentação” de SOUZA e SOBRINHO (2005), “Instrumentos de Medição Elétricas” de TORREIRA (2002) e “Instrumentação Industrial” de BEGA (2003), da dissertação de Mestrado em Metrologia “Desenvolvimento de Modelos do comportamento Metrológico estático de Instrumentos de Medição”, de DARRIGO (2001), bem como artigos científicos do arquivo Digital do INMETRO e da ISA Automation USA: “Proposed recommendations for improvement on a methodology for the selection of measurement systems” de SCHIRIGATTI (2011), cujo artigo informa também as recomendações deste trabalho na metodologia de ALBERTAZZI e SOUSA (2008), a “Proposta de sistematização do processo de garantia metrológica para instrumentos de medição” de SILVIA (2006), “Guia para elaboração de um plano de manutenção da Confiabilidade Metrológica de Instrumentos de Medição – Escolha de Instrumentos” de SERENO e SHEREMETIEFFI (2007) e outros conforme o referencial bibliográfico do trabalho. No trabalho proposto não se utilizou de um referencial de artigos do exterior, buscando uma maior particularidade regional através dos artigos do INMETRO.

## 1.5 JUSTIFICATIVAS DA SELEÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO

Segundo ALBERTAZZI E SOUSA (2008, p.307), Especificar um conjunto de sistemas de medição para atender às necessidades específicas de um processo produtivo, no qual um expressivo volume de peças deva ser medido com grande velocidade, é uma tarefa que requer reflexões e avaliações muito mais aprofundadas. O montante de investimento inicial, os custos operacionais, a confiabilidade metrológica, a produtividade e a

manutenibilidade, são alguns dos fatores técnicos, econômicos e logísticos de grande impacto que decorrem da seleção efetuada.

E conforme SERENO e SHEREMETIEFF (2007, p.1) nos diz que: “a fim de assegurar a qualidade em processos produtivos, é fundamental garantir que as medições realizadas para tomadas de decisão sejam confiáveis, para isso é necessário saber especificar tais instrumentos de forma apropriada a cada aplicação proposta, além de calibrá-los.”.

## 1.6 JUSTIFICATIVAS DO PORQUE RECOMENDAR MELHORIAS NA PROPOSTA DE ALBERTAZZI E SOUSA

Através da pesquisa exploratória realizada neste trabalho, foram raros os métodos de seleção encontrados e inúmeros os Sistemas de Medição revisados. Como já comentado, foram encontradas as metodologias de SERENO e SHEREMETIEFF (2007) pela faculdade Católica de Petrópolis e INMETRO e a de ALBERTAZZI e SOUSA (2008) pela Universidade de Santa Catarina. Esta última proposta foi escolhida por abranger uma maior quantidade de requisitos metrológicos (abrangência e detalhes) e pela aplicação facilitadora de planilhas de critérios de avaliação. O presente trabalho tem como objetivo sugerir na metodologia encontrada de ALBERTAZZI E SOUSA, recomendações já existentes na literatura, como comentários e conceitos de autores de metrologia e recomendações normativas da série ISO 9001/2/3, tornando-a mais criteriosa e de melhor visão sistêmica no foco da qualidade metrológica e do desempenho dos instrumentos, método e operador. A esquematização e a revisão da metodologia apresentada no Cap.2 tornam-na de fácil entendimento para o metrologista, ajudando-o na seleção dos sistemas de medição.

## 1.7 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O estudo neste trabalho está delimitado em apresentar os conceitos de medição direta e indireta, os instrumentos e sistemas de medição, mostrando a variedade e sua complexidade, bem como apresentar a metodologia de seleção de sistemas de medição de ALBERTAZZI e SOUSA de maneira resumida e esquemática para que somente assim, no Cap. 3, seja possível apresentar as recomendações sintetizadas para a referida metodologia dentro do âmbito do Sistema de Qualidade Metrológica por SOARES (1999), Normas da série ISO 9001/2/3 e pelo desempenho dos Instrumentos de Medição, Métodos e Operador por SOUZA e SOBRINHO (2005). Contudo não se esgota aqui a apresentação de diversos métodos de medições, sistemas de medição e tipos de medição, onde no Cap.4, nas conclusões deste trabalho, no item referente aos trabalhos futuros é sugerida novas possibilidades de recomendações.

## 1.8 COMO O TRABALHO ESTÁ ORGANIZADO?

O trabalho está organizado nas seguintes partes:

a) Fundamentação teórica, trabalhando com os conceitos, objetivos, metodologia de pesquisa e organização geral do trabalho:

No CAPÍTULO 1 é realizada a apresentação do trabalho, uma introdução da fundamentação de sistemas de medição e medidores caracterizando sempre os principais objetivos da pesquisa e a importância das medições adequadas. O Capítulo citado também contempla a fonte das informações de pesquisa, a justificativa da seleção de sistemas adequados, a demonstração da metodologia de pesquisa utilizada e a organização geral do trabalho, formalizando assim o rigor acadêmico e onde é possível passar ao leitor uma visão sistêmica sobre o assunto da pesquisa.

No CAPÍTULO 2 é feita uma revisão teórica mais aprofunda sobre os fundamentos e conceitos das medições e medidores, de suas aplicações industriais e do método de ALBERTAZZI E SOUSA mostrando o esquema e detalhamento do método, bem como os conceitos da qualidade, da garantia da qualidade metrológica e das normas da série ISO, consolidando assim a base para a elaboração da proposta de melhorias do método de seleção de sistemas de medição.

b) Elaboração das recomendações de melhoria do método de seleção de sistemas de medição:

No CAPÍTULO 3 é apresentada com base na fundamentação teórica, através das recomendações de diversos autores, Normas da Série ISO 9001/2/3, a “*proposta de melhorias da metodologia de seleção de sistemas de medição de Albertazzi e Sousa*”.

No CAPÍTULO 4 são apresentadas as considerações finais da proposta e as sugestões para trabalhos futuros. Por fim são relacionadas às referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento desta pesquisa.

## CAPÍTULO 2 – REVISÃO TEÓRICA

Neste capítulo é feita uma revisão teórica com mais detalhes sobre os conceitos e fundamentos de medições e medidores, enfatizando a medição do tipo elétrica, de nível, vazão, tempo e temperatura (medição direta e indireta), de suas aplicações industriais e dos métodos (parâmetros e critérios de avaliação de ALBERTAZZI E SOUSA e por demais estudiosos da Metrologia), bem como os conceitos de qualidade e garantia da qualidade metrológica necessária para:

1. Compreender os sistemas de medição, tipos de medição, os medidores diretos e indiretos, suas aplicações indústrias e acadêmicas.
2. Relatar e compreender o método de ALBERTAZZI E SOUSA.

Na medida em que são apresentados os conceitos e fundamentos é realizada uma ligação com o CAP.3 enfatizando a importância de determinados pontos que devem ser considerados na elaboração da proposta de melhorias de seleção dos sistemas de medição.

### 2.1 MEDIÇÃO E A METROLOGIA

Segundo ALBERTAZZI E SOUSA (2008),

Para exprimir quantitativamente uma grandeza física, é necessário compará-la com uma unidade de determinar o número de vezes que essa unidade está contida na grandeza avaliada. É fundamental que a unidade utilizada seja muito bem definida e amplamente reconhecida internacionalmente. Só assim as medições assumem caráter universal. A grandeza que está sendo medida recebe o nome de *mensurando*. O tempo que um piloto de Fórmula 1 leva para dar uma volta em uma pista de corrida, o comprimento de um certo muro, a pressão de uma caldeira, a área de um terreno e a altura de uma pessoa são exemplos de mensurandos. A operação de medição é realizada por um dispositivo denominado *instrumento de medição* ou *sistema de medição*.

Uma vez decidido o que medir, passa-se a definir que instrumento de medida pode dar conta do que se deseja medir. Instrumentos de mensuração têm uma variedade de características que impactam sua eficiência. (ROSADOS, 2005)

Portanto, deve ser dada grande importância às características dos instrumentos de mensuração de acordo com a sua aplicabilidade. Neste capítulo e no capítulo 3 deste trabalho

são abordadas às devidas considerações com relação aos instrumentos de medição para a sugestão de novos critérios de seleção dos sistemas de medição.

“A metrologia de acordo com THEISEN apud SILVA (2004), é definida como ‘o campo do conhecimento relativo às medições, ou ciência das medições’. Abrange todos os aspectos técnicos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza, em quaisquer campos da ciência ou da tecnologia.” (FERRAZ e SILVA, 2008, p.1).

“A exatidão das medidas é de interesse à segurança das pessoas, aonde existe a necessidade de protegê-las contra os efeitos de medições inexatas que podem trazer riscos à saúde e a segurança. Daí, esta é de grande significância para o desenvolvimento social e econômico.” (FERRAZ e SILVA, 2008, p.1).

No CAP. 3 a postura investigativa com relação à exatidão é também um dos pontos importante e consideráveis por SOUZA e SOBRINHO (2005) e DARRIGO (2001) com relação ao desempenho dos instrumentos de medição, métodos de medição ou desempenho do operador para as sugestões de critérios de seleção do sistema de medição.

### 2.1.1 Medições de Nível para Sólidos e Fluidos

Conforme SOISSON (2002):

A medição de nível de um líquido, pasta fluida ou materiais secos contidos em um reservatório pode parecer simples, mas pode se tornar relativamente difícil quando o material é corrosivo, abrasivo, mantido sob altas pressões, radioativo ou está no interior de recipientes estanques em que não são desejáveis partes móveis ou em que é praticamente impossível fazer a manutenção destas [ou realizar medições regulares e constantes em grandes tanques de líquidos inflamáveis e/ou tóxicos]. São encontradas dificuldades quando há necessidade de elevada precisão na medição, tanto em recipientes muito pequenos ou muito grandes, abertos ou compartimentados. O controle de nível entre dois níveis pré-estabelecidos, um ponto superior e outro inferior, é uma das aplicações mais comuns dos instrumentos de medição e controle de nível. A medição de nível na interface entre dois líquidos ou um vapor também apresenta algumas aplicações interessantes de instrumentos e controles.

Os níveis podem ser medidos e mantidos por meio de dispositivos mecânicos, de queda de pressão, elétricos ou eletroeletrônicos. O tipo de dispositivo depende do tipo de material contido no recipiente, do tipo de recipiente e da precisão necessária para medir e controlar (SOISSON, 2002, p.261). Estas variáveis dependentes do tipo de dispositivo do sistema de medição é outro ponto importante que deve ser considerado nos critérios da elaboração da proposta de seleção a ser descrita no CAP. 3.

Para um melhor entendimento, no item que segue 2.1.2, vários autores relatam em detalhes sobre o funcionamento, as características, vantagens e desvantagens destes dispositivos mecânicos de medição de nível, classificando-os em medições: i) diretas e ii) indiretas.

### 2.1.2 Tipos de Medições de Nível

Conforme comentado no *Cap.1 Introdução*, o trabalho proposto trata de **medição indireta e direta**. Os medidores de medida direta utilizam as seguintes tecnologias: medidores por visores de nível (líquidos e sólidos); medidor por bóias e flutuadores (líquidos); medidor por contatos e eletrodos (líquidos); medidor por sensor de contato (líquidos) e medidor de unidade de grade (sólidos) (BRITO, 2010 apud FIALHO, 2002).

Já os medidores de medida indireta utilizam as seguintes tecnologias: medidor por capacitância (líquidos e sólidos); medidor por empuxo (líquidos); medidor por pressão hidrostática (líquidos); medidor por célula d/p CELL (líquidos); medidor por caixa de diafragma (líquidos); medidor por tubo em U (líquidos); medidor por borbulhamento (líquidos); medidor por radioatividade (líquidos e sólidos); medidor por ultrassom (líquidos e sólidos); medidor por vibração (líquidos e sólidos); medidor por pesagem (líquidos e sólidos); medidor por radar (líquidos os sólidos). (BRITO, 2010 apud FIALHO, 2002).

Os instrumentos de medição de nível também são classificados pela função que o instrumento desempenha no sistema, o que os leva a classificá-los como indicadores, transmissores, controladores e chaves de nível, conforme pode ser visto na tabela abaixo (BRITO, 2010 apud BEGA, 2003).

*Quadro 1 - Tipos de Instrumento e campo de aplicação dos mesmos.*

Tipo de instrumento	Chave de nível					Medição contínua									
	Medição em ponto fixo					Indicação					Transmissor / controlador				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Flutuador	E	-	R	R	-	B	-	R	R	-	B	-	R	R	-
Deslocador	E	-	B	-	-	-	-	-	-	-	E	-	B	-	-
Pressão diferencial	E	R	R	-	-	E	R	R	-	-	E	R	R	-	-
Ultra-sônico	B	R	-	B	B	-	-	-	-	-	B	R	-	R	B
Radar	E	B	-	B	R	-	-	-	-	-	E	B	-	B	R
Capacitivo	B	B	R	-	B	R	R	R	-	R	B	B	R	-	B
Eletromecânico	E	R	R	B	B	R	R	-	R	R	B	R	-	B	B
Pás rotativas	-	-	-	-	B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pesagem	-	-	-	R	B	-	-	-	R	B	-	-	-	R	B

1 – líquidos limpos. 2 – líquidos com espuma. 3 – interface. 4 – polpas. 5 – sólidos.  
 E – excelente (sem restrições). B – bom (com restrições). R – regular (poucas aplicações).  
*Fonte: (BRITO, 2010) apud (BEGA, 2003)*

Seguem neste item informações sobre as medições direta e indireta de nível, bem como as suas aplicações, sendo que, é possível organizá-las conforme mostra o *quadro 2*, dadas pelos autores SOINSON (2002) e BOLTON (2005):

*Quadro 2 – Tipo de medição x Tipo de Instrumentos x Aplicações (um resumo das medições de nível direta e indireta – mecânica e eletrônica - desta revisão teórica baseada nos conceitos e fundamentos de SOINSON (2002) e BOLTON (2005)).*

Tipo de Medição de Nível	Tipo de Instrumento	Aplicações
Medição direta	Régua ou haste graduada	Medição da profundidade no interior dos tanques de gasolina; verificação do nível do óleo nos motores de automóvel; medição em recipientes e tanques com materiais não tóxicos.
	Visor de vidro	Medição do nível de materiais líquidos não corrosivos, nem oxidantes e nem viscosos. Medição em recipientes abertos e fechados; podem ser encontradas em ferros a vapor, máquinas de café, caldeiras a vapor.
	Bóias ou flutuadores (bóias confinadas, bóias com fita ou corrente, bóias de deslocamento e boas magnéticas)	Limitações em algumas aplicações por ser difícil manter a operação limpa e eficiente; podem ser usados tanto em reservatórios abertos quanto em fechados; são usados em reservatórios onde há uma variação de nível limitada e devem indicar níveis



		determinados pelo comprimento do braço que sustenta a bóia; uso em superfícies sem ondulações / sem líquidos em ebulição; usados para acionar pilotos ou relês que transmitam a indicação de nível ou controlem válvulas ou bombas que regularizem automaticamente o nível do líquido (bóias confinadas).
Medição Indireta	Medidor de Nível do Tipo Pressão Diferencial	Uso em reservatórios abertos ou fechados; independe do formato do tanque ou se o mesmo se encontra pressurizado ou não; medição de nível por borbulhador pode detectar o nível de líquidos viscosos, corrosivos, bem como de quaisquer líquidos à distância.
	Medição por capacitância (sensor capacitivo)	Estes aparelhos podem ser usados para indicar o nível de materiais alcalinos, ácidos, produtos químicos, alimentos, combustíveis, grãos, sólidos granulados, fluidos hidráulicos, óleos, peróxidos, pós, pastas, vapor e água; sistema capaz de medir tanto líquidos como material seco e pode fornecer um sinal para indicação remota; São adaptáveis tanto a reservatórios grandes como pequenos.
	Medição de nível por radiação	As aplicações podem envolver altas temperaturas, materiais corrosivos, viscosos ou abrasivos.
	Medição por ultrassom	Podem ser usados tanto com líquidos como com sólidos granulados suficientemente pequenos;

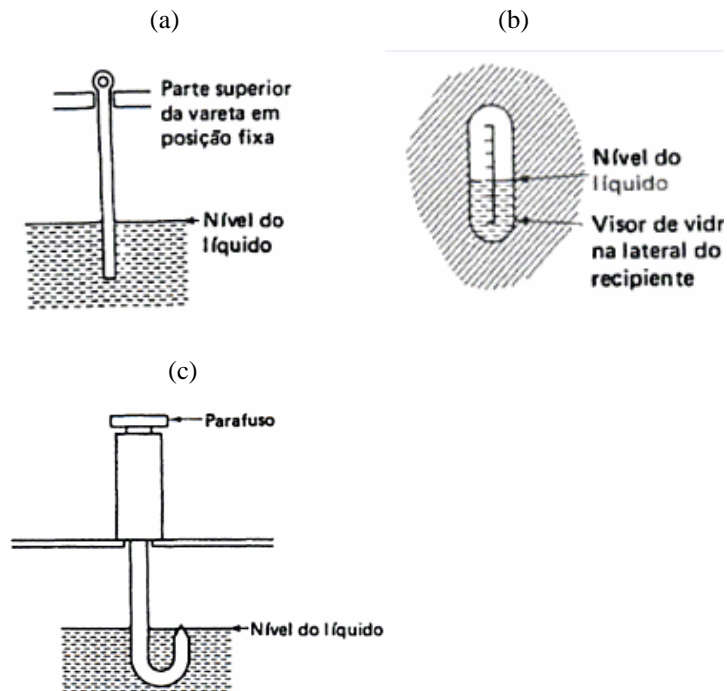
Fonte: SOINSON (2002) e BOLTON (2005) - formatação e organização do Autor.

SOINSON (2002, p.261) comenta que: “a régua ou haste graduada são instrumentos mecânicos para medição e controle de nível e carga hidrostática [e] incluem dispositivos visuais e de indicação. O dispositivo mais simples para indicação de nível é uma vara ou haste, graduada em centímetros ou outras unidades apropriadas [...],” como mostra a Fig. 2.

“A superfície do líquido é mostrada pelo líquido que fica impregnado na vareta quando ela é removida do reservatório; a parte superior da vareta permanece sempre na mesma posição quando imersa no líquido.” BOLTON (2005, p.109).

O método é utilizado para verificar o nível do óleo nos motores de automóvel. A vareta de nível têm a desvantagem de precisarem ser removidas e examinadas para que o nível do líquido seja determinado. Uma forma que supera esta desvantagem da vareta de profundidade é utilizar um visor de vidro na lateral do recipiente. O nível do líquido pode ser notado contra uma escala sobre o vidro [...] (Fig. 2b).” BOLTON (2005, p. 109).

Fig. 2 - Formas de vareta de profundidade. (a) Vareta de profundidade; (b) visor; (c) calibre de gancho.

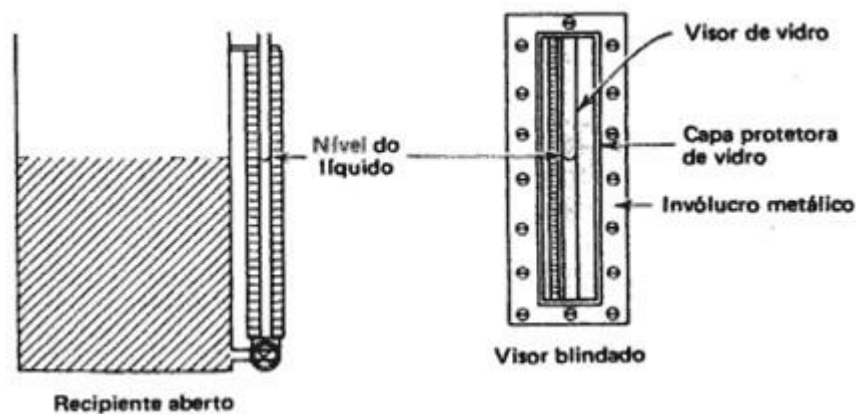


Fonte: BOLTON (2005, p.109)

SOINSON (2002, p.262) comenta sobre **medição direta de nível por visores**:

“O visor de vidro é outro método visual simples de se medir o nível de materiais líquidos não corrosivos, nem oxidantes e nem viscosos. O método do visor de vidro é visto na [...] Fig. 3 [...] tanto para recipientes abertos como fechados.”

Fig. 3 - Esquema de um arranjo de visor de vidro



Fonte: SOISSON (2002, p.262)

Ainda segundo BRITO (2010) apud BEGA (2003), comenta sobre os medidores por visores de nível: “[...] São sensores de baixo custo, quando comparados com outros tipos, e que são mais utilizados no monitoramento local de nível, não sendo utilizados somente no caso em que a pressão e/ou temperatura impeçam sua utilização.”.

Na Fig. 4 abaixo, segundo ACOSTA (2011), mostra um medidor de nível de vidro usando o princípio dos vasos comunicantes, onde o nível é observado por um visor de vidro especial, neste caso acompanhado de uma escala graduada:

*Fig. 4 – visor de nível de vidro*



*Fonte: ACOSTA (2011)*

Na Fig. 5, ACOSTA (2011) mostra um medidor de nível de vidro muito usado, é o visor de vidro tubular instalado externamente com válvulas de bloqueio na parede do tanque:

*Fig. 5- visor de vidro tubular com válvulas de bloqueio na parede do tanque.*



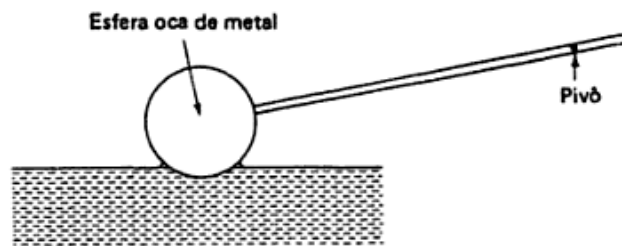
*Fonte: ACOSTA (2011)*

BRITO (2010) apud BEGA (2003), comenta sobre medições diretas por boias ou flutuadores: “[...] São também chamados de bóias e sua característica é a de acompanhar a

altura do líquido independente de sua forma geométrica e do material utilizado.”, conforme mostra a Fig. 6.

“Existem alguns métodos baseados no uso de flutuadores, ou bóias (Fig.6), frequentemente o flutuador é uma esfera oca de metal, ligada à extremidade de um sistema de alavanca. Variações no nível do líquido fazem a bóia se mover e, portanto, forçam o movimento da alavanca.” BOLTON (2005, p.110).

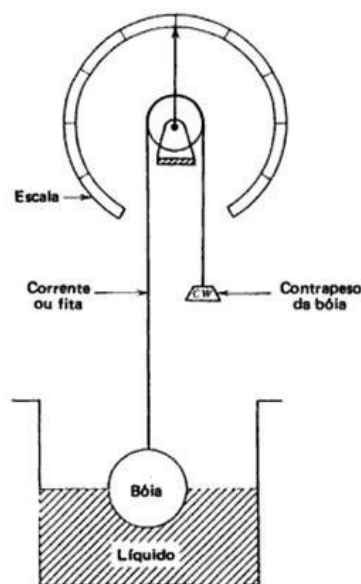
*Fig. 6 - Bóia*



*Fonte: BOLTON (2005, p.109)*

“Quando é necessária uma apresentação ou registro da indicação de nível, podem ser utilizados um sistema flutuante com bóia e fita ou bóia e uma corrente para recipientes abertos. Em recipientes fechados, sob vácuo ou pressão, onde a vedação é prioritária, são usadas bóias com braço de torque, bóias confinadas, bóias magneticamente acopladas e dispositivos hidráulicos de acionamento.”, como um exemplo, a Fig. 7, mostra um mecanismo típico de indicação de nível com bóia e fita ou corrente.

*Fig. 7 - Arranjo típico de um mecanismo de indicação de nível com bóia e fita ou corrente*

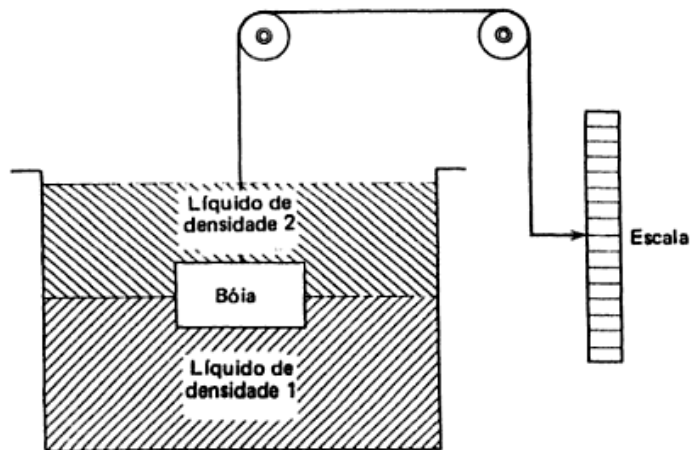


*Fonte: SOISSON (2002, p.264)*

SOISSON (2010) relata sobre os mecanismos de bóia para reservatórios abertos e fechados:

Os mecanismos de bóia podem ser usados tanto em reservatórios abertos quanto em fechados. [...]. A bóia chata vista na figura [8] geralmente é preferida por oferecer melhor sensibilidade e precisão nesse tipo de indicação. A densidade da bóia deve ser escolhida de modo a que se afunde no líquido de menor densidade e flutue sobre o líquido mais denso, o valor ideal sendo a média entre a dos dois líquidos. Este tipo de bóia restringe-se normalmente a reservatórios abertos nos quais a quantidade total de líquido apresenta grandes variações. Uma variação na densidade do líquido mais pesado causa uma variação na indicação do nível de Interface, com erro proporcional à variação de densidade. Tal sistema terá uma força de acionamento relativamente baixa sobre o dispositivo de leitura, pois a bóia é equilibrada contra o peso do conjunto indicador. Esta força de acionamento é geralmente menor que 0,5Kgf.

*Fig. 8 – Vista em corte de um arranjo com bóia para indicação de nível de interface em reservatórios abertos.*



*Fonte: SOISSON (2002, p.267)*

Na Fig. 13 e 14, ACOSTA (2011) mostra um medidor de nível do tipo bóia ou flutuador presa a um cabo que sua extremidade ligada a um contrapeso. No contrapeso, está fixado um ponteiro que indicará diretamente o nível em um escala. Esta medição é encontrada em tanques fechados não pressurizados:

*Fig. 9- medidor de nível tipo bóia em um tanque fechado*



*Fonte: ACOSTA (2011)*

*Fig. 10 - transmissor de nível tipo bóia*



*Fonte: ACOSTA (2011)*

Segundo BRITO (2010) apud FIALHO (2002) nos trás informações sobre os tipos de **medições indiretas de Pressão Diferencial**:

“São também conhecidos como medidores de pressão hidrostática e utilizam o diferencial de pressão que é provocado por uma coluna líquida no equipamento. O Teorema de Stevin é bastante utilizado neste método, independente do formato do tanque ou se o mesmo se encontra pressurizado ou não [...]”.

Na Fig. 15, ACOSTA (2011) mostra um medidor de nível por pressão hidrostática, onde neste tipo de instrumento é usada a pressão que é exercida pela altura da coluna líquida, para a medição indireta do nível.

*Fig. 11- medição por pressão hidrostática*



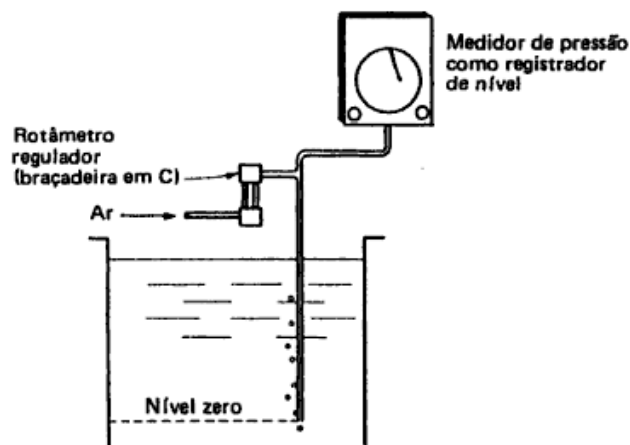
*Fonte: ACOSTA (2011)*

SOISSON (2010, p.273) também relata sobre os sistemas de queda de pressão em reservatórios abertos, usando um sistema de bolhas por expurgação de bolhas:

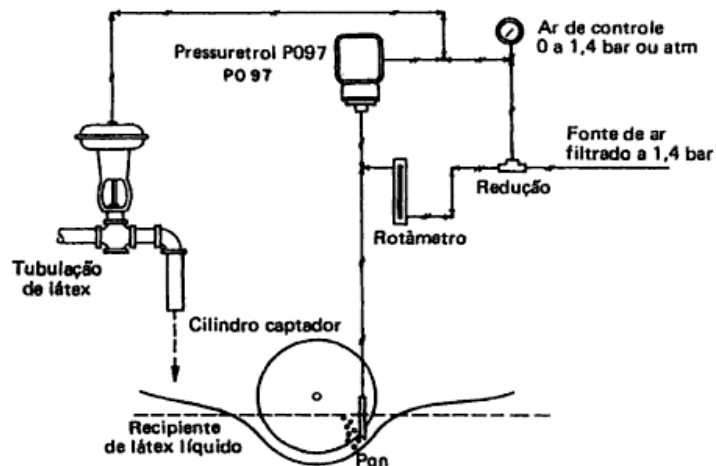
“Um arranjo simples para a indicação de nível usando um sistema de bolhas é visto na figura 12(a). Em tal sistema, qualquer variação de peso específico, como a precipitação de partículas na base ou uma elevação de temperatura do volume, produz um erro na leitura de nível.” A figura 12(b) mostra um sistema por expurgação totalmente pneumática.

*Fig. 12 – Sistemas de indicação de nível de líquido por expurgação de bolhas. (a) Corte de um arranjo simples para indicação de nível de líquido. (b) Sistema de controle de nível de líquido por expurgação totalmente pneumática, que mantém o nível constante em um recipiente de látex e torna constante a vazão de saída. Cortesia Honeywell, Inc.*

(a)



(b)



Fonte: SOISSON (2002, p.273)

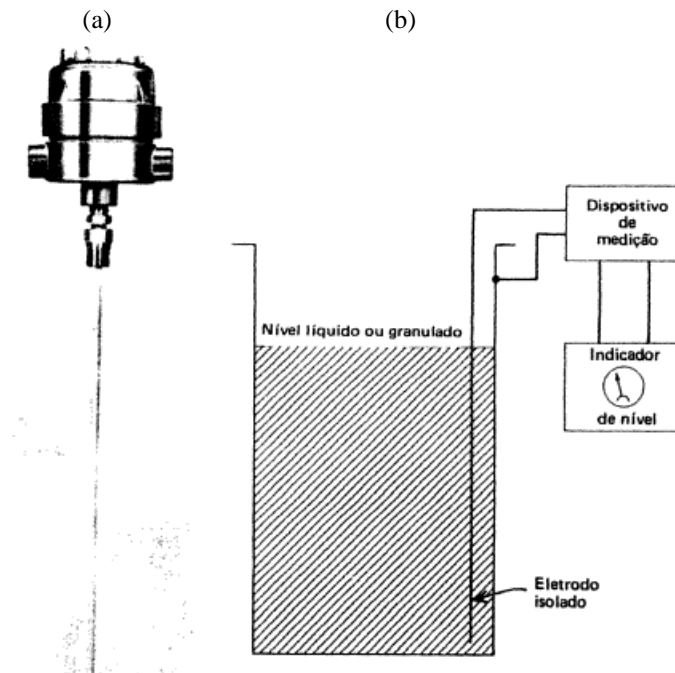
Não esgotando as possibilidades de revisão teórica das medições de pressão diferencial, as mesmas se estendem na literatura como, por exemplo, “os indicadores ou registradores de diafragma para nível de líquido”, no qual podem ser encontrados na referência bibliográfica de SOISSON em 2002 na página 276.

Outros tipos de medições indiretas, como o de capacitância: (sensor capacitivo): O sensor capacitivo utiliza o princípio do capacitor, cuja função é o armazenamento de cargas elétricas, além de se opor às variações de tensão no circuito em que está instalado.

“Os indicadores por capacitância existem no mercado como modelos de ponto de teste ou de nível contínuo. Estes aparelhos podem ser usados para indicar o nível de materiais alcalinos, ácidos, produtos químicos, alimentos, combustíveis, grãos, sólidos granulados,[etc.][...]” SOISSON (2010, p.285), tal unidade é vista na figura 13 (a).



Fig. 13 – Instrumentos capacitivos de indicação de nível. (a) Sistema Level-Tek modelo 303 de detecção e controle de nível por capacitância. (b) Vista transversal de um sistema de indicação contínua do nível de capacitância.



Fonte: SOISSON (2002, p.287)

Na Fig. 14 e 15, ACOSTA (2011) mostra os **medidores capacitivos**, [...] onde estes medem as capacidades do capacitor formado pelo eletrodo submerso no líquido em relação às paredes do tanque. A capacidade do conjunto depende do nível do líquido. O elemento sensor geralmente é uma haste ou cabo flexível de metal. Em líquidos não condutores se utiliza um eletrodo normal e em fluidos condutores o eletrodo é isolado normalmente com Teflon. À medida que o nível do tanque for aumentando o valor da capacitância aumenta progressivamente à medida que o dielétrico ar é substituído pelo dielétrico líquido a medir. A capacitância é convertida por um circuito eletrônico numa corrente elétrica sendo este sinal indicado em um medidor.

Fig. 14 – medidor capacitivo



Fonte: ACOSTA (2011)

Fig. 15- medidor capacitivo no tanque

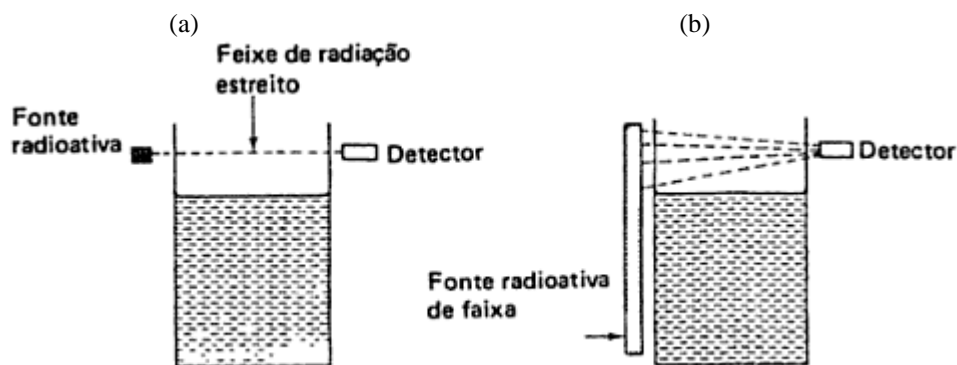


Fonte: ACOSTA (2011)

Sobre a **medição por radiação** BRITO (2010) apud (FIALHO, 2002) nos diz que “[...] é um processo pouco difundido e muito caro para a obtenção do nível tanto de sólidos quanto líquidos, sendo utilizada somente quando seja completamente impossível outra forma de obtenção de nível.”

Conforme BOLTON (2005, p.111) relata que os **medidores isótopos radioativos**: “Podem ser utilizados em sistemas de medição de níveis em que não seja feito qualquer contato com a superfície do líquido. A Fig. [16(a)] mostra um sistema de determinação de níveis simples liga/desliga.”

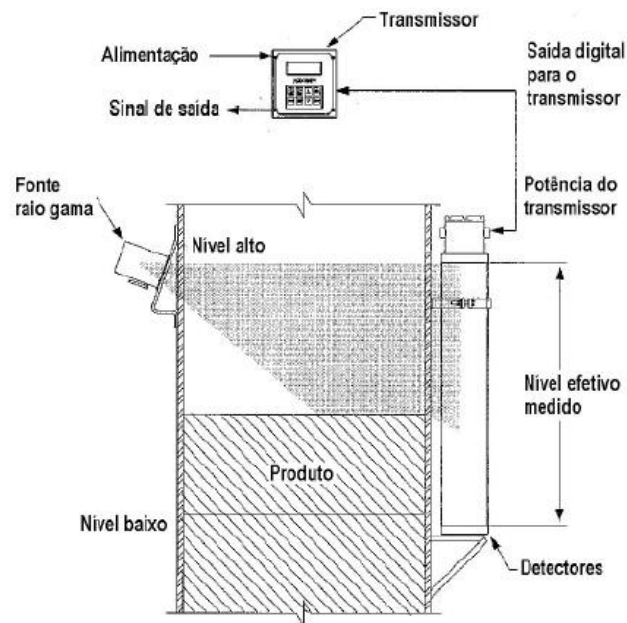
Fig. 16 – (a) Detector de níveis tipo liga/desliga radioativo; (b) calibre radioativo indicador de níveis.



Fonte: BOLTON (2005, pag.111)

Nas Figuras 17, 18 e 19, ACOSTA (2011) mostra uma **medição por radiação**: “[...] uma fonte de emissão de raios gama é montada perpendicularmente à tubulação do processo [...], tem-se uma câmara de ionização que transforma a radiação gama recebida em um sinal elétrico de corrente contínua. Como parte da transmissão de raios gama é absorvida pelo produto que passa pela tubulação ou pelo produto que esta dentro do tanque, a radiação captada pelo sensor [...]”

Fig. 17- Sistema de medição por radiação (raios gama)



Fonte: ACOSTA (2011)

Fig. 18 - fonte de raios gama montado perpendicularmente fora da parede de um tanque.



Fonte: ACOSTA (2011)

Fig. 19- câmara de ionização



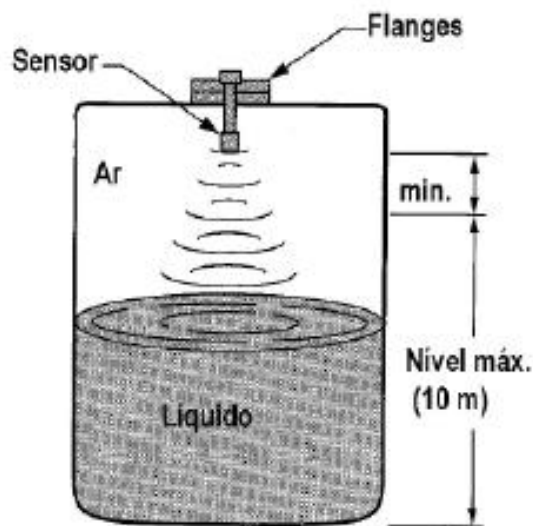
Fonte: ACOSTA (2011)

**Medição por ultrassom:** “Os medidores por ultrassom podem operar de forma contínua ou como chaves de nível. O primeiro caso pode ser feito com o medidor instalado no topo do tanque ou completamente submerso no produto. Esse medidor gera uma onda mecânica, com frequência superior àquela percebida pelo ouvido humano (geralmente 26,5 kHz), que se propaga pelo meio que se encontra.” BRITO (2010) apud (BEGA, 2003).

Nas Figuras 20 e 21, ACOSTA (2011) mostra:

“Uma medição por ultrassom, ou seja, emissão de uma onda sonora, cuja frequência de oscilação é maior que aquela sensível pelo ouvido humano, isto é, acima de 20 kHz. As ondas de ultrassom são geradas e captadas pela excitação elétrica de materiais piezoelétricos.”

*Fig. 20- medição por ultrassom.*



*Fonte: ACOSTA (2011)*

*Fig. 21- medidor de ultrassom*

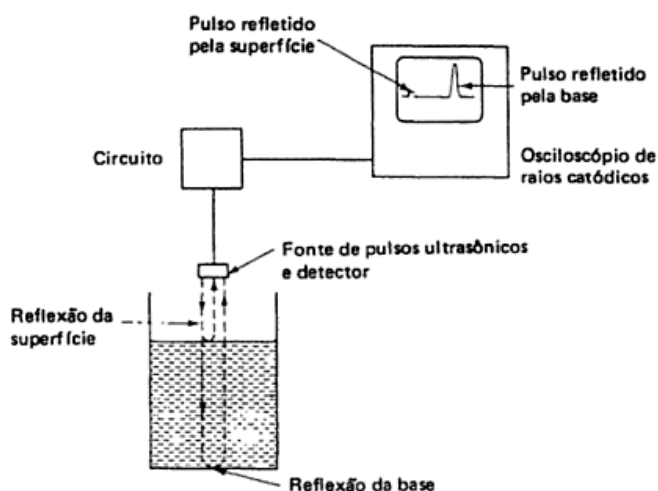


*Fonte: ACOSTA (2011)*

“Sistemas ultrassônicos de indicação de nível podem ser usados tanto com líquidos como com sólidos granulados suficientemente pequenos para preencher os entalhes e provocarem uma variação no sinal transmitido ao sinal recebido.” SOISSON (2010, p.286).

Um método de determinação de níveis que não exige qualquer contato mecânico com a superfície é o indicador de nível ultrassônico (Fig.22), que é, essencialmente, um ecômetro (sonda de eco). Um pulso de ondas ultrassônicas é emitido de uma fonte colocada acima da superfície do líquido. O pulso viaja para baixo até a superfície do líquido, onde em parte é refletido. O restante do pulso continua descendo até ser refletido pela base do recipiente. Os pulsos refletidos são então detectados e a diferença de tempo à recepção dos pulsos é uma medida de profundidade do líquido contido no recipiente. BOLTON (2005, p.110)

*Fig. 22 – Indicador de nível ultrassônico*



*Fonte: BOLTON (2005, p.110)*

### 2.1.3 Tipos de Medições de Tempo e Frequência

O tempo é medido em termos de alguma forma de oscilação e segundo BOLTON (2005, p.89), “Os Sistemas de Medição de tempo podem ser operados mecânica ou eletricamente.”. Nos Sistemas de Medição operados mecanicamente existem certa imprecisão e para evita-las BOLTON (2005) nos informa a existência de cronômetros automáticos de disparo para acionamento e parada do sistema, bem como cronômetros elétricos simples com mostradores digitais de três algarismos. Os mostradores elétricos baseiam sua indicação do tempo na contagem de oscilações elétricas [...] e também são chamados de contador de pulsos.

Segundo SOINSON (2010, p.68) comenta sobre a calibração de instrumentos de medição de tempo: “um bom cronômetro de precisão [...] é adequado para a calibração de muitos instrumentos de processamento de resposta em tempo, quando os intervalos de tempo excedem 1/100s. Medições de tempo tal como velocidades da impressão, respostas de unidades de indicação de ciclos de impressão, pertencem a esta classe.”.

#### 2.1.4 Tipos de Medições de Temperatura

“Temperatura é uma medida industrial importante, que é exigida em todos os casos nos quais a aplicação de calor ou frio é necessária para o controle de um processo ou operação de fabricação.” (SOISON, 2010, p.145). O termômetro é um dos instrumentos mais comuns para medir a temperatura. “Provavelmente o tipo mais comum de termômetro de expansão é o termômetro de mercúrio-em-vidro [sic]. Outros líquidos podem ser utilizados. [...], o termômetro de álcool-em-vidro [alcance de  $-80^{\circ}$  a  $+70^{\circ}$ ], os termômetros de pentano-em-vidro [alcance de  $-200^{\circ}$  a  $+30^{\circ}$ ].” (BOLTON, 2005, p.141).

“Cada tipo [termômetro, exemplos: em vidro, líquido em metal, de tensão de vapor, de gás, bimetálicos e de resistência variável] é baseado numa certa teoria e tem vantagens e desvantagens. Cada um tem seu lugar na indústria, e este lugar se baseia na aplicação do processo e na precisão exigida para a qualidade do produto, segurança de operação ou controle necessários.” (SOINSON, 2010, p. 147).

Nas Figuras 34 e 35 são apresentados os termômetros em ângulo:

*Fig. 23 – Termômetro em ângulo. (a) Ângulo de  $135^{\circ}$  à esquerda e (b) Ângulo de  $90^{\circ}$  à direita.*



*Fonte: BOLTON (2005, p.151)*

“Os termômetros industriais são usados para medir a temperatura de metal fundido em máquinas monotipo de fundição, gás encanado, fornos, ar em dutos pneumáticos, teste de massa, massa frita, quebra-queixos, cozimento de creme, refrigeradores, [...] e em outras aplicações nas quais o bulbo sensor de temperatura pode ser mantido submerso [...]” (SOISSON, 2010, p.153-154).

Não esgotando os conceitos o princípio de operação e os diversos tipos de termômetros industriais apresentados neste trabalho, os mesmos podem ser vistos com mais detalhes na literatura de BOLTON (2005) e SOISSON (2010), como exemplo: os termômetros de líquido em metal (usados em aplicações de espaços reduzidos), termômetros acionados a vapor (úteis onde a temperatura ambiente ou circundante é a mesma), termômetros a gás (dispositivos muito precisos), termômetros bimetalícos (termômetros recomendados para temperaturas acima de 425°C), termômetros de resistência (termômetros industriais capazes de suportar temperaturas a qual foi dimensionado) e os termômetros eletrônicos (o mais recente avanço na medição de temperatura).

### 2.1.5 Tipos de Medidores Elétricos

“Generalizando [pode-se dizer] que os instrumentos de medida elétrica, [...], podem ser distribuídos quanto ao modo de funcionamento do sistema de medição em quatro grandes grupos: magnéticos, térmicos, eletrostáticos, de vibrações e eletrônicos.” TORREIRA (2002, p.37). Abaixo é apresentada apenas um esclarecimento sobre os instrumentos de medição magnéticos.

Com relação aos instrumentos **de medição magnéticos**, “estes [...] destinam-se a medir uma grandeza elétrica em um circuito, pelo deslocamento de uma parte móvel em relação a uma fixa. Tal deslocamento pode ser produzido toda vez que uma dessas partes é percorrida por uma corrente, gerando um campo magnético [O princípio de funcionamento pode ser visualizado na literatura do autor citado].” TORREIRA (2002, p.37).

TORREIRA (2002) ainda comenta que dentro desta classe de instrumentos de medição magnéticos podemos ter três subgrupos: “Instrumentos de bobina móvel ou ímã permanente, instrumento de ferro móvel e instrumentos eletrodinâmicos ou ferro dinâmicos.”.

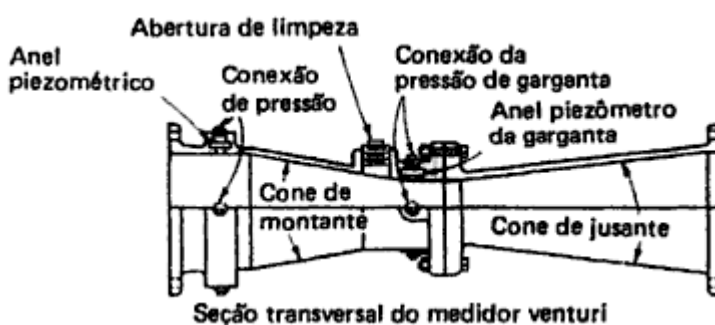
“Os instrumentos de bobina móvel é dos mais empregados nas medições diretas de grandezas elétricas, como correntes contínuas de baixo valor, tensões milivoltimétricas,

resistência, capacitância ou indutância, ou ainda a frequência, bem como medições indiretas de outras grandezas físicas, como por exemplo temperaturas, umidade, velocidade, pressão, vazão, etc.” (TORREIRA, 2002).

### 2.1.5 Tipos de Medidores de Vazão

Com relação aos medidores de Vazão SOINSON (2010, p.301) nos informa que: “a vazão de material em um processo ou sistema pode ser medida por uma variedade de métodos que dependem do material, volume, exatidão necessária e controle exigido. Os principais métodos usados [...] incluem medidores de vazão piezométricos, de área, eletromagnético positivo e de canal aberto.”. Entre os medidores de vazão piezométricos, para a medição de vazão de gases, líquidos e pastas, por meio de restrições de fluxos está o tubo de Venturi, tubo de Venturi de inserção, bocal de fluxo, placas com orifício, medidores de pressão diferencial, medidores mecânicos de vazão, medidores de vazão elétricos, transdutores de pressão. Neste trabalho são apresentados apenas alguns medidores de vazão piezométricos, não se esgotando aqui os demais medidores, onde os mesmos podem ser verificados na literatura de SOINSON nas páginas 324 a 352. “O tubo de Venturi [Fig. 24] é um dispositivo de medição de vazão que normalmente é inserido em uma tubulação do mesmo modo que qualquer outra conexão. [...] É equipado com conexões piezométricas em um anel de pressão para calcular a média da pressão à montante, e neste ponto se faz a conexão do manômetro de alta pressão.” (SOINSON, 2010, p. 302-303).

Fig. 24 – Um tubo de Venturi típico em corte.



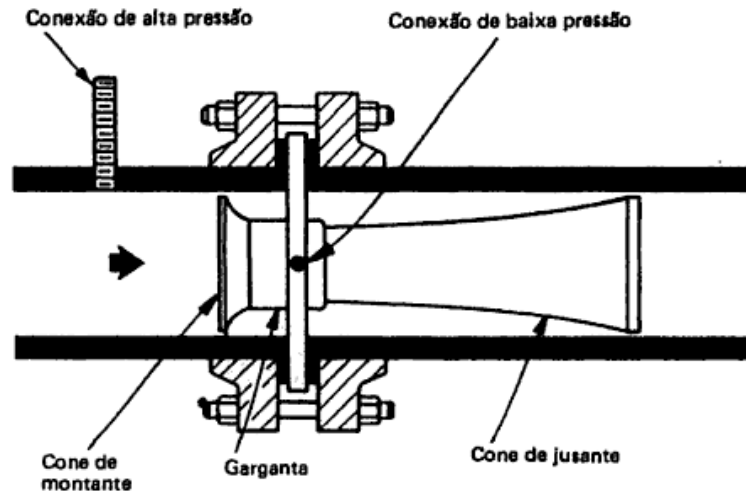
Fonte: SOINSON (2010, p.302)

Na Fig. 25 é mostrado o tubo de Venturi de inserção, onde o mesmo é uma variação do tubo de Venturi regular. “Pode ser instalado dentro de uma tubulação de alta pressão com



um custo muito menor do que os de Venturi regular em aplicações semelhantes.” SOINSON (2010, p. 303).

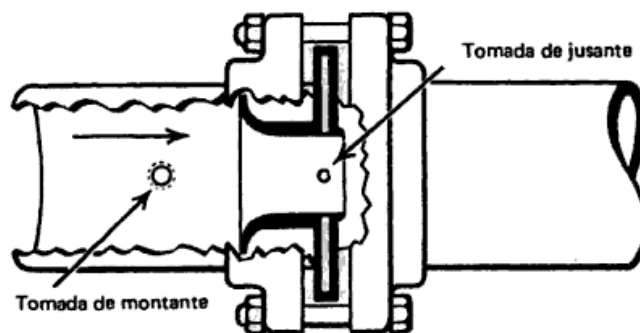
*Fig. 25 – Vista em corte de um tubo de Venturi de inserção*



*Fonte: SOINSON (2010, p.303)*

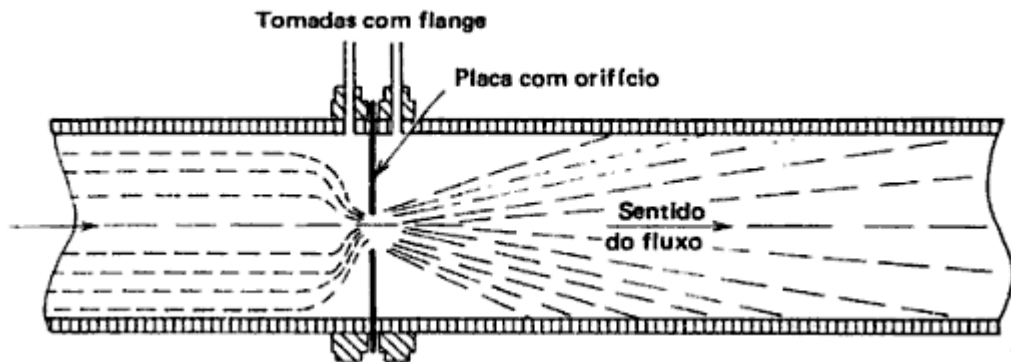
Outro medidor equivalente ao tubo de Venturi de inserção é o bocal de fluxo visto na Fig. 26, “é mais barato [...] que o tubo de Venturi de inserção, exceto que não possui o cone de recuperação. [...] Possui uma maior perda de carga, entretanto, menor perda em relação às placas com orifício [Fig. 27].” SOINSON (2010, p. 304).

*Fig. 26 – Vista em corte de um bocal de fluxo*



*Fonte: SOINSON (2010, p.303)*

*Fig. 27 – Vista em corte de uma instalação típica*



Fonte: SOINSON (2010, p.306)

Segundo SOINSON (2010, p. 304), “A placa com orifício é o dispositivo de medição de fluxo mais largamente utilizado, devido a sua simplicidade, baixo custo de fabricação e facilidade de instalação. Também produz a mais elevada perda de carga, mas na maioria das medições de vazão esta perda não tem muita importância.”. As placas com orifícios convencionais, [...] é uma peça fina de metal com resistência física suficiente para impedir a flexão sob as diferenças de pressão que deve suportar em funcionamento.”.

## 2.2 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO NA METODOLOGIA DE SERENO E SHEREMETIEFFI

A metodologia de SERENO e SHEREMETIEFFI trabalham com critérios para a escolha dos sistemas de medição: a) Exatidão requerida; b) Faixa de Indicação; c) Condições ambientais e d) Comunicação com outros sistemas.

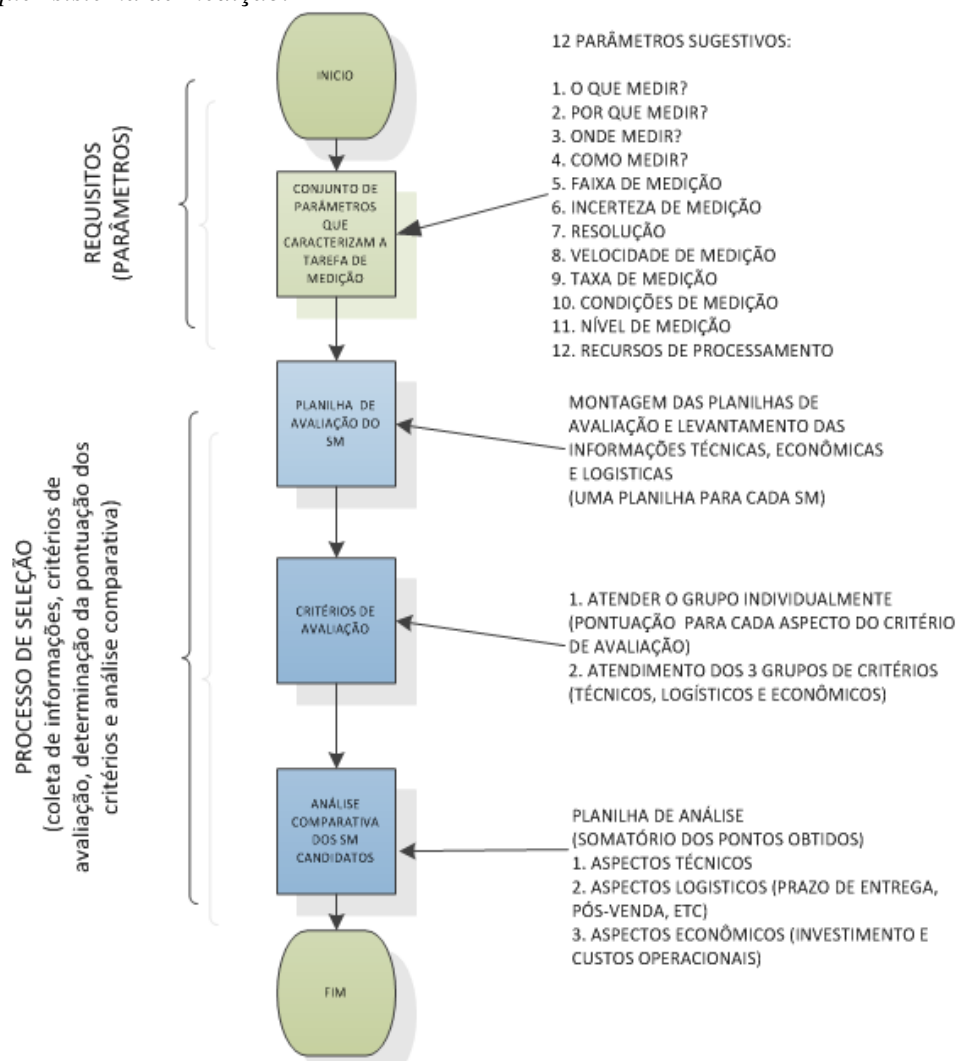
Segundo SERENO e SHEREMETIEFFI (2007, p.3) informa que: “analisando estes indicativos [citados acima como critérios para a seleção do SM], pode-se escolher o instrumento que melhor atenda os requisitos do processo produtivo. Porém a correta especificação do instrumento é o ponto inicial para garantir a confiabilidade metrológica do processo produtivo”.

Um segundo passo nesta metodologia de SERENO e SHEREMETIEFFI são realizar a calibração para a determinação [...] da incerteza de medição antes de sua utilização, assegurando assim a confiabilidade metrológica. Deve-se também realizar a correta conservação e utilização do instrumento que auxilia na manutenção de sua confiabilidade.

### 2.3 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E PARÂMETROS PARA A SELEÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO NA METODOLOGIA DE ALBERTAZZI E SOUSA

A metodologia de ALBERTAZZI e SOUSA, está dividida em duas etapas: a primeira etapa é composta dos parâmetros iniciais ou requisitos da tarefa de medição e a segunda etapa é o processo de seleção propriamente dito conforme ilustra a Fig. 28. Na primeira etapa realiza-se uma ampla caracterização da tarefa de medição, definindo claramente o que se pretende medir e alcançar com a medição e também que atenda aos múltiplos aspectos da aplicação: aspectos técnicos, econômicos e logísticos.

Fig. 28- Esquema do método de seleção de Sistemas de Medição de Albertazzi e Sousa, 2008 – válido para qualquer sistema de medição.



Fonte: Autor, adaptado com informações de Albertazzi e Sousa (2008).

Os aspectos técnicos são norteados pelas necessidades técnicas do processo para o qual as medições são realizadas. A análise dos custos e benefícios de uma dada seleção de um sistema de medição são aspectos envolvidos na avaliação econômica. Aspectos logísticos envolvem a observação de itens como os prazos de entrega de entrega, a assistência técnica, manutenções, calibrações e possibilidade de atualizações. ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p.309).

### 2.3.1 Caracterização da Tarefa de Medição por Albertazzi e Sousa para definição dos parâmetros (requisitos) para o processo de seleção:

Sobre a caracterização da tarefa de medição, na tabela 1, de ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p.309) mostra as principais características requeridas para a tarefa de medição, onde a especificação de um conjunto de parâmetros deve ser clara e será decisiva para a seleção de um sistema de medição. Parâmetros adicionais podem vir a ser convenientes para ajudar a seleção de sistemas de medição para aplicações muito específicas. Neste aspecto, pode-se também contribuir com novos critérios ou requisitos metrológicos e estão sintetizados no Cap.3 como recomendações à metodologia.

*Tabela 1- Parâmetros que caracterizam a tarefa de medição*

Aspectos a considerar	Descrição
O que medir	Caracterizar plenamente o mensurando. Deve ficar claro o porquê de medir, o que medir, em que posição medir e quantas vezes repetir. Deve também ser definido se há interesse no valor médio do mensurando ou no valor em um momento ou posição predefinida.
Por que medir	Explicar as razões por que as medições são necessárias e qual a sua utilidade no contexto da aplicação.
Onde medir	Onde as medições devem ser efetuadas: no laboratório de medição? Integradas ao processo produtivo? Ao lado do processo produtivo? Em locais variáveis (requerem sistema portátil)?
Como medir	Descrever particularidades ou técnicas especiais relativas à forma de efetuar a medição. Deixar claro se algum período de tempo ou condição deve ser observado antes de a medição ser efetuada.
Faixa de medição	De acordo com as características do processo produtivo, descrever a faixa de valores esperada para o mensurando. Considerar a presença de peças fora das faixas de tolerância. Se conveniente, considerar atuais e possíveis futuros modelos de peças a medir.
Incerteza de medição	Especificar os níveis de incerteza necessários ao processo de medição. Considerar um décimo do intervalo de tolerância como valor alvo típico.
Resolução	Definir a resolução necessária ao indicador do sistema de

	medição.
Velocidade de medição	Especificar o número de medições que devem ser realizadas por unidade de tempo ou, alternativamente, o tempo necessário para completar a medição de um item.
Taxa de medição	No caso de grandezas dinâmicas, especificar o número de medições sequenciais que devem ser adquiridas por segundo.
Condições de medições	Especificar as condições do ambiente de medição como a faixa de temperatura, a presença de vibrações, a existência de sujeira ou outros contaminantes, a presença de campos eletromagnéticos, etc. Outras condições de uso relevantes devem também ser especificadas.
Nível de Automação	Especificar se é desejada medição totalmente computadorizada, parcialmente computadorizada ou totalmente manual.
Recursos de processamento	Caso medições total ou parcialmente automatizadas venham ser utilizadas, especificar os recursos de processamento e representação de resultados requeridos. Gráficos, base de dados, relatórios e controle estatístico de processos são alguns exemplos.
Outros requisitos	Incluir alguma outra particularidade específica.

*Fonte: ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p.309-310)*

### 2.3.2 Esquema do método de seleção de sistemas de medição de ALBERTAZZI E SOUSA:

É possível esquematizar e melhor descrever o método de ALBERTAZZI E SOUSA como mostra a Fig. 28, em duas fases: a) caracterização da tarefa de medição (parâmetros); e b) processo de seleção. O método inicia, portanto, como comentado anteriormente, na caracterização da tarefa de medição com os doze itens sugestivos. Estes parâmetros são de grande importância e são pré-requisitos para iniciar o processo de seleção de qualquer sistema de medição. A segunda fase, que é o “processo de seleção”, compõe-se de três planilhas de avaliação para cada sistema de medição: a) avaliação técnica; b) avaliação logística; e c) avaliação econômica; e também composto por uma planilha comparativa de todos os sistemas de medição candidatos. Os aspectos dos critérios técnicos e logísticos são pontuados de 1 a 5 e valorados no caso dos aspectos econômicos (ver tabelas 2, 3, 4 e 5).

### 2.3.3 Processo de Seleção do Sistema de Medição

Como visto no item anterior, o levantamento dos parâmetros que caracterizam a tarefa de medição, ou também designar como levantamento e análise dos requisitos

primordiais da tarefa de medição, são pré-requisitos do processo de seleção, como mostra a Fig. 46, necessários para a segunda etapa da metodologia de Albertazzi e Sousa (2008). O processo de seleção é composto e influenciado por critérios técnicos, logísticos e econômicos, onde cada um é constituído por seus aspectos e onde devem ser pontuados de acordo com o grau de importância (pleno, bom, razoável, ruim e não atende) conforme a tabela 2. A pontuação pode ser definida quantitativa como, por exemplo: 5 – Pleno, 4 – Bom, 3- Razoável, 2- Ruim e 1 – não atende.

Segundo ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p.317),

Não é raro que vários sistemas disponíveis no mercado atendam plenamente aos requisitos técnicos de uma tarefa de medição relativamente simples. Nestes casos, a seleção será fortemente influenciada por critérios econômicos e/ou logísticos. Há casos em que os requisitos técnicos de uma tarefa mais complexa podem mesmo não vir a ser plenamente satisfeitos por nenhum sistema disponível no mercado. Nesses casos, a revisão de algumas exigências estabelecidas para a tarefa pode vir a ser necessária. A busca ou desenvolvimento de um sistema de medição especial pode ser uma alternativa conveniente. De posse dos requisitos da tarefa de medição sintetizados na tabela [2, 3 e 4], é possível iniciar o processo de seleção em si. Para organizar o processo de seleção, sugere-se a utilização de uma planilha de avaliação similar à apresentada na tabela [2, 3 e 4]. Uma planilha de avaliação deve ser montada para cada sistema de medição candidato a ser selecionado. Nessa tabela, há campos para comportar informações técnicas, econômicas e logísticas.

*Tabela 2 – Planilha de Avaliação dos aspectos Técnicos*

Avaliação de sistemas de medição						
Identificação do SM		Identificar o sistema de medição avaliado				
Atendimento a aspectos técnicos						
Aspectos técnicos	5 - Pleno	4 - Bom	3 - Razoável	2 - Ruim	1 - Não atende	Observações
Adequação ao mensurando*	X					
Faixa de medição		X				
Incerteza de medição*		X				
Resolução	X					
Velocidade de medição			X			
Taxa de medição		X				
Robustez operacional	X					
Praticidade operacional		X				
Nível de automação*			X			
Recursos de processamento		X				
Outros aspectos particulares	X					
Pontuação obtida	46					

\* Aspectos logísticos relevantes.

Fonte: Adaptado de ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p.318)

Tabela 3 – Planilha de Avaliação dos aspectos logísticos

Avaliação de sistemas de medição						
Identificação do SM		Identificar o sistema de medição avaliado				
Atendimento a aspectos logísticos						
Aspectos logísticos	5 - Pleno	4 - Bom	3 - Razoável	2 - Ruim	1 - Não atende	Observações
Prazo de entrega			X			
Atendimento pós-venda	X					
Atualizações		X				
Aspectos Adicionais		X				
Pontuação obtida	16					

\* exemplos da possibilidade de marcar aspectos logísticos relevantes.

Fonte: Adaptado de ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p.318-319)

Tabela 4 – Planilha de Avaliação dos aspectos econômicos

Avaliação de sistemas de medição				
Identificação do SM	Identificar o sistema de medição avaliado			
Aspectos econômicos	Custo Unitário	Quantidade	Custo Total	Observações
<b>Investimento Inicial</b>				
Custo de aquisição	4.000,00	1	4.000,00	
Custo de preparação	1.000,00	1	1.000,00	
<b>Total do investimento</b>	4.000,00			
<b>Custos Operacionais</b>				
a) Estabilização do ambiente	500,00	1	500,00	
b) Mão-de-obra	2.000,00	1	2.000,00	
c) Insumos	500,00	1	500,00	
d) Manutenções e calibrações	1.000,00	1	1.000,00	
e) Depreciação	500,00	1	500,00	
f) Imobilização de capital	500,00	1	500,00	
<b>Custo operacional Total</b>	R\$ 5.000,00			

Fonte: Adaptado de ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p.319)

Sobre o preenchimento das planilhas, “deve se iniciar pela verificação do atendimento aos critérios técnicos. Na sequência, aspectos econômicos e logísticos devem ser

avaliados. A decisão deve ser tomada com base na avaliação em conjunto”. ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p.319).

ALBERTAZZI e SOUSA nos mostra suas considerações dos aspectos técnicos, logísticos e econômicos na seleção dos sistemas de medição e para maiores detalhes dos requisitos metrológicos, podem ser verificados na literatura no autor nas páginas 320 a 332. Os comentários do autor grifados na citação são relevantes para a elaboração das recomendações no Cap.3:

**i) Aspectos Técnicos:**

Para todas as características técnicas citadas a seguir (adequação do sistema de medição, adequação da faixa de medição, resolução do mostrador, etc.), o resultado da avaliação de cada característica deve ser anotado no campo correspondente da tabela 2 e também deve ser assinalado com um “X” no item aspecto (também pode ser chamada característica técnica ou requisito metrológico técnico) correspondente, atribuindo um grau como “5 - plenamente”, “4 - bom”, “3 - razoavelmente”, “2 - ruim” ou “1 - não atende”.

**a) Adequação do sistema de medição ao mensurando:**

É necessário avaliar se o sistema candidato é adequado para realização da tarefa de medição especificada.

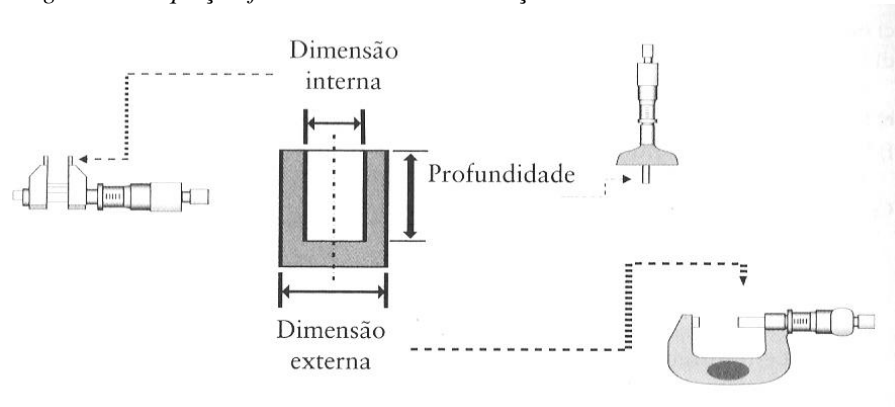
“O sistema deve ser apropriado para a forma como o mensurando se apresenta e permitir sua medição da maneira pela qual esta tem que ser feita, segundo o algoritmo de medição. Corresponde à avaliação ao atendimento dos itens “o que medir” e “como medir” da tarefa.” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008)

No exemplo da Fig. 29 são ilustrados três tipos de Instrumentos de Medições (micrômetros), cada um específico para medir comprimentos de forma distinta.

“O sistema de medição tem que ser fisicamente adequado para as características do mensurando” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.320).



Fig. 29 – Adequação física do sistema de medição ao mensurando



Fonte: ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p.320)

b) Adequação a faixa de medição:

“A faixa de medição do sistema de medição candidato deve ser ampla o suficiente para cobrir toda a faixa especificada na tabela que descreve a tarefa de medição. Faixas mais amplas que o necessário podem ser usadas, desde que não elevem demasiadamente o preço ou deteriorem outras características importantes do desempenho do sistema.” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.321). Uma solução que ALBERTAZZI e SOUSA sugerem quando existe uma limitação técnica para cobrir faixas de medições ou reduzir custos, é utilizar uma coleção de sistemas de medições, onde cada sistema pode cobrir faixas menores.

c) Adequação da incerteza de medição:

**“É fundamental que o sistema de medição selecionado seja capaz de produzir resultados com incertezas de medição compatíveis com as necessidades da tarefa. A incerteza do processo de medição não depende apenas do sistema, mas é resultante da ação combinada de diversos fatores como o procedimento, condições ambientais, operador e características do mensurando.”** (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.322, grifo nosso). O balanço de incertezas deve ser realizado (incerteza do processo de medição), deve ser confrontada com a incerteza requerida.

d) Resolução do mostrador:

“A resolução do indicador do sistema de medição candidato também deve ser observada e comparada com o valor alvo de 5% do intervalo de tolerância. **É conveniente selecionar um sistema de medição com resolução adequada e que permita a leitura da indicação com certo conforto [...]**” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.322, grifo nosso).

e) Velocidade de medição:

“Sistemas de medição pouco práticos operacionalmente devem ser evitados. Esses sistemas tendem a tornar a medição demorada e cansativa. Com o uso continuado, provocam fadiga no operador, aumentando as chances de que ocorram erros.” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.323). Verificar a aquisição de sistemas de alto desempenho para atingir velocidades de medição adequada e requeridas a tarefa de medição.

f) Taxa de medição:

“Para os casos em que medições dinâmicas venham a ser realizadas, deve-se verificar se o sistema candidato tem condições de atender a taxa especificada na planilha de tarefa de medição.” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.323).

g) Robustez operacional:

“A robustez operacional do sistema de medição deve ser adequada às condições do ambiente onde o sistema vai operar [fatores como choques mecânicos, vibrações, poeira, ruídos eletromagnéticos, excesso de força, alta temperatura e mau uso pelo operador]. Há sistemas cujo princípio de medição e de concepção construtiva os tornam relativamente resistentes e insensíveis às agressões do meio onde vai trabalhar. [e outros sensíveis aos fatores agressivos].” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.323).

“É necessário verificar a capacidade do sistema de medição candidato em operar nas condições reais de uso. Frequentemente, sistemas mais robustos apresentam incerteza de medição pior, em contraponto com sistemas de excelente nível de incerteza, estes últimos normalmente muito delicados. [...]” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.323).

h) Praticidade operacional:

Este aspecto técnico refere-se à praticidade, facilidade no uso e o conforto operacional do operador com o sistema evitando fadiga operacional. “Sempre que possível, testes experimentais devem ser realizados como forma de avaliar adequadamente essas características.” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.324).

i) Grau de automação:

“Atualmente, quando sistemas de medição automatizados precisam ser usados, sistemas de *arquitetura aberta* [sistemas com compatibilidade de sinais disponíveis no mercado] têm sido preferidos. Em virtude da adesão de grandes empresas fabricantes de sistemas e módulos de medição a padrões desse tipo, torna-se muito mais fácil compor

sistemas de medição automáticos, reunindo módulos de diferentes fabricantes.” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.324-325). Neste requisito metrológico deve ser verificada a flexibilidade, facilidade de manutenção, atualização do sistema automático e a comunicação do Sistema de medição automatizado com computadores, de acordo com a automação desejada. **“Outro fator importante é que o SM selecionado deve ser compatível com a estratégia da qualidade adotada, ou seja, inspeções a cada etapa e no final do processo produtivo e que o SM atenda o grau de automação requerido.”** (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, grifo nosso).

j) Recursos de processamento:

“Caso medições semiautomáticas ou automatizadas sejam selecionadas, deve-se verificar se o programa que acompanha o sistema de medição tem condições de cumprir plenamente as funções desejadas pelo usuário.” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.325). Alguns exemplos de recursos de processamento dos Sistemas de Medição podem ser, a da capacidade de armazenamento, registro numérico, vários tipos de gráficos, análise de tolerâncias, análises estatísticas, emissão de relatórios e controle estatístico de processo.

k) Outros requisitos:

Registrar outros aspectos particulares do SM na planilha, caso existam.

l) Pontuação dos aspectos técnicos

“A avaliação do atendimento às especificações requeridas para a tarefa de medição pode ser realizada em duas etapas: eliminatória e classificatória. A etapa eliminatória retira da lista dos sistemas de medição candidatos àqueles que não atendem, ou atendem mal, a qualquer aspecto técnico importante”. (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.326).

Outras sugestões de (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.326) são:

- Dependendo do rigor da fase eliminatória, especialmente nos casos em que a várias opções de escolha, também podem ser eliminados sistemas que atendam apenas razoavelmente a algum aspecto técnico importante.
- A etapa classificatória depende também dos aspectos econômicos e logísticos.
- Pesos diferenciados podem ser atribuídos para cada aspecto técnico, respeitando a sua importância para as particularidades do processo de medição, sempre tendo em vista o porquê da medição.

## ii) Aspectos Logísticos:

Nos aspectos logísticos devem ser verificados alguns requisitos como: prazo de entrega, o atendimento pós-venda e as possibilidades de atualização, citados abaixo:

“O prazo de entrega é um aspecto conhecido e negociável durante a aquisição. O atendimento pós-venda deve ser muito bem verificado antes da aquisição definitiva para evitar futuras surpresas desagradáveis. A possibilidade de atualizar o sistema de medição substituindo módulos obsoletos por lançamentos é outro aspecto importante a observar.” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.326).

Para todas as características logísticas citadas abaixo (prazo de entrega, atendimento pós-venda, atualizações, etc.), o resultado da avaliação de cada característica deve ser anotada no campo correspondente da tabela 3 e também deve ser assinalado com um “X” no item aspecto (também pode ser chamada característica técnica ou requisito metrológico logístico) correspondente, atribuindo um grau como “5 - plenamente”, “4 - bom”, “3 - razoavelmente”, “2 - ruim” ou “1 - não atende”.

### a) Conveniência do prazo de entrega:

Observar o prazo entrega do sistema de medição e o pedido de compra. “O fabricante e alguns fornecedores normalmente mantêm em estoque sistemas de medição de uso geral, reduzindo consideravelmente o prazo de entrega. Sistemas de medições muito especializados, por sua vez, frequentemente requerem prazos consideravelmente maiores”. (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.327).

### b) Atendimento pós-venda:

Segundo ALBERTAZZI e SOUSA (2008, grifo nosso) informa que: “após o recebimento de um novo sistema de medição, podem ser necessárias várias providências para operacionaliza-lo como por exemplo: adaptações ou a introdução de acessórios, programas de medição dedicados, instalações e procedimentos de operacionalização realizadas pelo fabricante, treinamentos de operadores, assistência de operação no inicio da utilização do SM, manutenções preventivas e corretivas, **existência de laboratórios especializados para a realização de calibrações periódicas**, ou seja, vários ajustes podem vir a ser necessários até que a operação do sistema atinja a condição de regime normal e também após a operacionalização inicial. Ouvir a opinião de usuários que utilizam os mesmos sistemas de medição é uma medida para subsidiar a decisão do equipamento.” Importante neste item

também comentado por ALBERTAZZI e SOUSA, verificar os treinamentos e capacitações dos operadores com relação a operacionalização do SM a ser adquirido. Outros exemplos e sugestões podem ser consultados na literatura do autor citado.

c) Atualizações

“Com o avanço tecnológico, muitos sistemas de medição tornam-se obsoletos. Novos sistemas, com melhor desempenho técnico e operacional, surgem no mercado regularmente. Chegará sempre o momento em que o sistema previamente adquirido deverá ser substituído. É interessante verificar a política de atualização tecnológica do fabricante.” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.328).

d) Aspectos adicionais

“Aspectos logísticos adicionais e relevantes, que não se enquadram nos anteriores, podem ser incluídos na avaliação e nesta linha da tabela [3]. Por exemplo, observações referentes à aquisição de equipamentos onde o requisitante já possui equipamentos, [ou já realizou aquisições] de um mesmo fabricante.” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008)

**iii) Aspectos Econômicos:**

“Quando vários sistemas de medição candidatos satisfazem tecnicamente às necessidades da tarefa de medição, e os aspectos logísticos são adequados, os aspectos econômicos devem então ser analisados para nortear a seleção do sistema mais conveniente.” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008). Aspectos econômicos importantes, além do custo devem ser considerados e analisados: os custos de preparação, da manutenção e operação, e a relação custo-benefício, que abaixo são citados pelo autor:

a) Investimento Inicial:

“Corresponde aos investimentos necessários para adquirir e preparar o ambiente, os operadores e, em alguns casos, a linha de produção para pôr o sistema de medição em operação. É composto de duas parcelas: os custos de aquisição e os custos de preparação, que, somados compõem os custos totais do investimento.” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.329)

1) Custos de aquisição:

“Corresponde a valores a serem pagos por ocasião da compra do sistema de medição. Devem ser incluídos os eventuais custos adicionais relativos a dispositivos e acessórios fornecidos pelo fabricante, de módulos adicionais e dos programas de computador necessários para a tarefa de medição.” (ALBERTAZZI e SOUSA, 2008, p.330).

2) Custo de preparação:

Conforme ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p. 330, grifo nosso):

Para que possam operar plenamente, alguns sistemas de medição mais sofisticados podem requerer um grande esforço de preparação do ambiente onde vão operar. A disponibilidade de uma sala climatizada, fundações especiais isoladas de vibrações, rede elétrica estabilizada, suprimento de ar comprimido seco e limpo são alguns exemplos de requisitos necessários para instalar uma máquina de medir por coordenadas, por exemplo. Outra parcela dos custos de preparação é o treinamento e a qualificação técnica dos operadores. Quanto mais sofisticado o sistema de medição, maiores os custos com capacitação e atualização dos operadores. **Operadores mal qualificados não só cometem mais erros como submetem o sistema a uso inadequado, o que compromete o desempenho metrológico, e fatalmente, acelera a velocidade de deterioração do sistema, o que irá requerer manutenções e calibrações mais frequentes.** Também aqui uma aparente “economia” com o treinamento e a capacitação de operadores pode resultar em custos de manutenção bem mais elevados.[...].

b) Custos operacionais:

“Os custos operacionais de um sistema de medição compreendem os gastos necessários para mantê-lo funcionando em plenas condições. Para fins de comparação, é conveniente exprimir cada componente dos custos operacionais por unidade de medida ou, alternativamente, por unidade de tempo. Desta forma, os custos operacionais totais são facilmente calculados considerando diferentes regimes de produção.” ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p.331). São compostos de seis componentes comentados por ALBERTAZZI e SOUSA (2008):

1) Estabilização do ambiente onde é operado o sistema de medição:

Inclui todos os custos necessários para manter o ambiente nas condições adequadas à operação do sistema de medição.

2) Mão-de-obra:

Inclui os custos com pessoal técnico, envolvendo os custos diretos com salários e encargos e os custos adicionais com cursos e treinamentos técnicos periódicos.

3) Insumos:

Envolve gastos como o consumo de energia elétrica e itens diversos, nos casos em que o sistema de medição utilize regularmente materiais de consumo.

4) Manutenções e calibrações:

Manutenções preventivas e calibrações devem ser planejadas dentro dos intervalos recomendados pelo fabricante.

5) Depreciação:

É a parcela do custo decorrente da degradação natural do sistema de medição com o uso regular.

6) Imobilização de capital

Reflete a perda de receita que a empresa experimenta ao adquirir o sistema de medição, comparando-se com o que ganharia se os recursos imobilizados fossem investidos no mercado financeiro.

ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p.332-334) nos mostra sugestões na última etapa do processo de seleção do SM, a junção dos aspectos técnicos, logísticos e econômicos através de uma análise comparativa dos sistemas de medição candidatos:

“O sistema de medição selecionado deverá ser aquele que melhor atenda aos três grupos de critérios simultaneamente (técnica, logística e econômica). [...] Diferentes pesos podem ser atribuídos a cada grupo de acordo com as particularidades da aplicação. Por exemplo, se o investimento e os custos operacionais forem naturalmente elevados, maior o peso pode ser dado a este aspecto, desde que os aspectos técnicos e logísticos tenham sido satisfatoriamente atendidos (tabela 5).” A maior soma da pontuação dos três aspectos (técnico, logístico e econômico), definirá o SM candidato para a sua aquisição, conforme a Tabela 5.

Tabela 5- Análise comparativa dos sistemas de medição candidatos

SM Candidato	Aspectos Técnicos	Aspectos Logísticos	Investimento Inicial	Custos operacionais	Pontuação e Observações
A	46	16	5*	5*	72
B	46	14	10*	10*	80
C					
D					
E					

Fonte: Adaptado de ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p.334)

Conforme no exemplo adaptado na tabela comparativa dos sistemas de medição candidatos de Albertazzi e SOUSA, (tabela 5), os valores do investimento inicial\* e custo operacional\* estão pontuados, isto é possível através da utilização de faixas de valores, como por exemplo: se custos  $\geq$  R\$10.000, pontuação = 1, se custos  $\geq$  R\$ 8.000 e custos  $<$  R\$10.000, pontuação = 2, se custos  $\geq$  R\$ 5.000 e custos  $<$  R\$ 8.000, pontuação = 3, e se custos  $\geq$  3.000 e custos  $<$  R\$ 5.000 e custos  $\geq$  R\$ 3.000, pontuação = 4, e se custos  $<$  R\$ 3.000, pontuação = 5.

## 2.4 FUNDAMENTOS DA QUALIDADE, GARANTIA DA QUALIDADE E DAS NORMAS ISO 10012-1/1993 E ISO 9001/2/3

Nos itens que seguem são apresentados os principais fundamentos e características da Qualidade, dos Sistemas de Gestão da Qualidade, da Garantia da Qualidade Metrológica, bem como as Normas ISO 10012-1 / 1993 e ISO 9001/2/3 (e outras) que serão aplicadas e/ou citadas por SOARES (1999) e também sobre a Confiabilidade Metrológica e o desempenho metrológico citadas por SOUZA e SOBRINHO (2005) no Cap. 3 (recomendações para a metodologia de Seleção de Sistemas de Medição de ALBERTAZZI e SOUSA).

### 2.4.1 Qualidade e Sistemas de Gestão da Qualidade

Conforme PARANHOS FILHO (2007, p.95), “Qualidade é a condição necessária para garantir o sucesso de uma operação de produção. Produzir com qualidade é fator chave



para a competitividade das empresas, no entanto não podemos planejar a qualidade se não entendermos seu significado.”

Portanto PARANHOS FILHO (2007, p. 95) nos define qualidade:

O significado do termo qualidade possui várias interpretações, sendo importante sua compreensão e definição, pois uma definição equivocada pode gerar problemas para a empresa. Por exemplo, se a qualidade for considerada como algo abstrato não existirá técnicas que levem a ela, ou se a qualidade for considerada a perfeição, nutrimos [sic] a sensação de que nunca será alcançada e as consequências dessas definições refletem na Gestão da Qualidade.

*Juran [sic] define qualidade por meio de vários de seus aspectos arrolados em desempenho do produto e ausência de deficiências:*

- O desempenho do produto: sua funcionalidade deve ser pelo menos igual ou superior à do concorrente.[...].
- A ausência de deficiências: fatores como entregas atrasadas e problemas de funcionamento geram um conjunto de fatores que resultam na insatisfação com produto e consequentemente reclamações e devoluções.

*É importante notar que a conformidade do produto contra um padrão não garante o seu sucesso.* É possível haver um produto que, embora não apresente deficiências em relação ao seu projeto, não tenha boas vendas, isso pode acontecer em razão de um melhor desempenho do produto concorrente ou de um *design* diferente deste, ou quaisquer outros fatores que o cliente julgue importantes.

A definição da qualidade colhida da Norma Técnica Brasileira que se referenciou na ISO 9000 é a seguinte:

- Qualidade: grau no qual um conjunto de características inerentes satisfaz a requisitos;
- Características: propriedades diferenciadoras;
- Classe: categoria ou classificação atribuída a diferentes requisitos da qualidade para produtos, processos ou sistemas, que têm o mesmo uso funcional;

Conforme os conceitos de qualidade das citações de OLIVEIRA et. al. (2003), pode-se relacionar a abordagem à qualidade metrológica (comentada no Cap.3), com uma abordagem fundamentada na produção (relacionada à “engenharia da confiabilidade”), ou seja, neste trabalho a abordagem de qualidade está ligada na questão de medições de confiabilidade que envolve métodos de medição, controle, calibração e manutenção dos sistemas ou instrumentos de medição e que demonstrem a **conformidade de produtos e processos**. A abordagem da qualidade fundamentada na produção é apenas comentada com relação à qualidade metrológica, mas não recomendada nesta proposta, onde manifesta-se nas recomendações da ISO 14253-1 (veja em ALBERTEZZI e SOUSA (2008, p.338-339, sobre recomendações de normas de garantia da qualidade) .

Segundo OLIVEIRA et. al. (2003) comenta sobre a Gestão da Qualidade:

A produção de produtos e serviços com qualidade não é uma tarefa fácil de ser conseguida. Faz-se [sic] produtos da empresa, possibilitando seu aprimoramento contínuo. Se necessário o desenvolvimento e implantação de Sistemas de Gestão da Qualidade nas organizações, para que se garanta o comprometimento de todos com o objetivo de conquistar a excelência nos processos

Ainda segundo OLIVEIRA et. al. (2003) comenta sobre a política da qualidade, passo inicial para a implantação de um Sistema de Gestão da Qualidade:

O primeiro passo para a implantação de um sistema da qualidade é a formalização, pela alta direção, de sua política da qualidade, ou seja, a definição do sistema de qualidade adotada pela empresa, deixando claros os objetivos pretendidos. A política da Qualidade é um documento que deve explicitar, de forma sintética, o compromisso da alta administração com a qualidade, servido como guia filosófico para as ações gerenciais, técnicas e operacionais. Além disso, o referido documento possibilitará a divulgação para os clientes externos do comprometimento da empresa com a qualidade. A política da qualidade deve transmitir a identidade da organização e ser largamente difundida e debatida com todos os seus colaboradores. As atividades da função qualidade não devem estar centralizadas em um Departamento da Qualidade, mas exercidas com o apoio e a intervenção direta dos níveis inferiores da empresa.

A descrição geral da Política da Qualidade adotada pela empresa deve estar delineada em um Manual da Qualidade que é o documento consolidador do Sistema de Gestão da Qualidade, descrevendo a maneira pela qual a empresa procurar atingir os objetivos da qualidade expressos em sua política. É portanto, um documento de caráter geral, aplicável à empresa como um todo e não a um ou outro setor especificamente. Serve como referência permanente para fornecedores e clientes internos e externos. [um abordagem da qualidade que está além dos limites da organização].

#### 2.4.2 Estrutura atual da família de normas ISO 9000

Segundo SOARES (1999, p.8-10) informa sobre as normas da serie ISO 9000:

Atualmente sistemas da qualidade baseados nas normas da série ISO 9000 são os mais difundidos em todo o mundo. Diversos são os benefícios gerados com a implementação de um sistema da qualidade baseado nas normas da garantia da qualidade ISO 9000, podendo citar como principais (UFC; et. al.):

- Melhoria da imagem institucional da empresa;
- Padronização das atividades;
- Introdução da cultura voltada ao melhoramento contínuo.

As normas da série ISO também servem de base para sistemas da qualidade específicos como é o caso do “Qs 9000” direcionado para empresas automotivas. Esse sistema da qualidade contempla os requisitos da série ISO 9000, contemplados pelos requisitos específicos do setor automotivo.

[...]

No Brasil, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é representante oficial da ISO e responsável pela divulgação das normas da série ISO 9000 no país. Essas normas são registradas no INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) e identificadas pela sigla NBR.

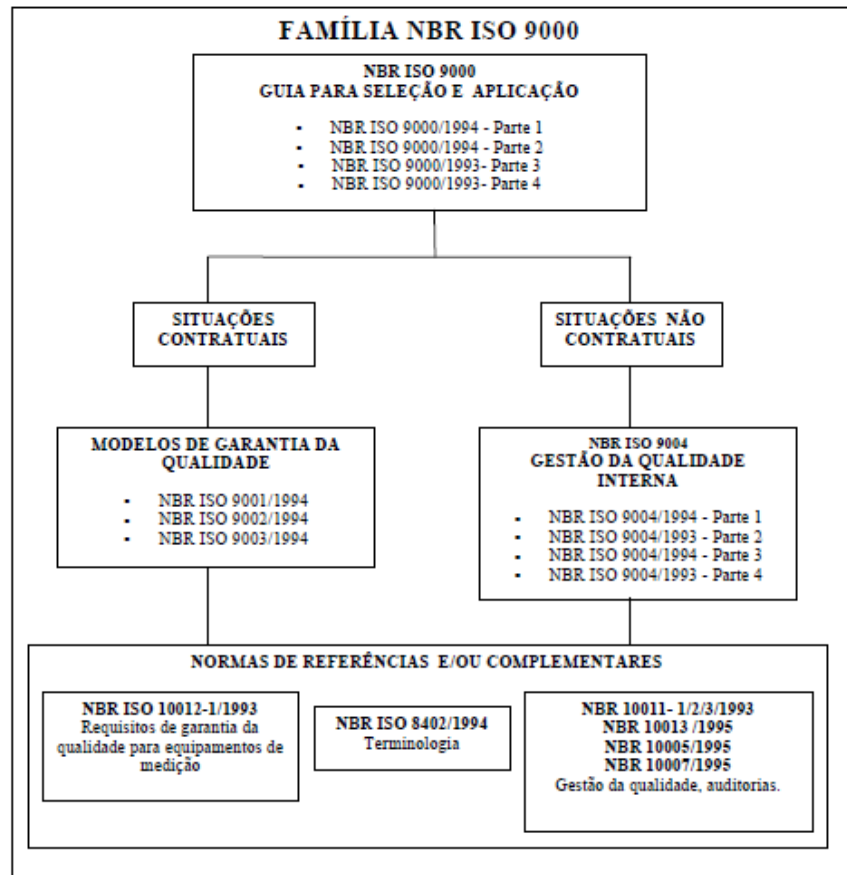
Segundo a ISO/ABNT NBR 9000-1/1994 (ISO/ABNT NBR 9000-1, 1994), a família NBR ISO 9000 atualmente é composta de:

- Todas as normas numeradas NBR ISO 9000 e NBR ISO 9004, inclusive suas partes;
- Todas as normas numeradas NBR ISO 10001 e NBR ISO 10020, inclusive suas partes;
- A norma ISO 8402

A figura [30] apresenta a estrutura atual da família de normas da Série ISO 9000 e que podem melhor ser visualizadas no trabalho de SOARES (1999, p. 10-14) onde mostra em detalhes os modelos da garantia da qualidade das normas NBR ISO 9001-

2-3/1994, bem como as normas NBR ISO 9004/1994/1993, NBR ISO 8402/1994, NBR ISO 10012-1/1993 e a NBR ISO 10011/1993.

Fig. 30 – Estrutura atual da família de normas ISO 9000



Fonte: SOARES (1999, p.10)

#### 2.4.3 Confiabilidade de processos de medição na indústria e as recomendações de Normas da Garantia da Qualidade

“Segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia Legal (OIML, 2000, p.8) a garantia metrológica é um conjunto de regulamentos, meios técnicos e ações indispensáveis para garantir a segurança e a exatidão adequada às medições.” (SILVA, 2004, p.32)

Conforme ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p.337) nos explicam sobre a confiabilidade de processos de medição na indústria:

Medições realizadas em ambientes de produção industrial ocorrem sob condições bem menos controladas do que as existentes por ocasião da calibração do sistema de medição em um laboratório de metrologia. Instabilidades ambientais, diferenças entre operadores, características do mensurando e outros aspectos da produção são

fortes fatores de influência que pode levar a incerteza do processo de medição para níveis muito acima dos encontrados nas condições de calibrações.

No entanto, mesmo sob condições mais severas, sistemas de medição têm de ser capazes de fornecer medições confiáveis ao longo do tempo, sem as quais não é possível garantir a qualidade dos processos de produção. Nesse contexto, é conveniente observar a medição como um processo industrial, cujas características podem se modificar com o tempo, mas devem ser mantidas dentro de limites aceitáveis [...]. Assim como um processo de produção deve produzir bens de qualidade, um processo de medição deve produzir medições de qualidade, isto é, medições confiáveis.

A confiabilidade das medições pode sempre ser verificada pelos balanços de incertezas [...], através da análise da capacidade estatística realizada com base em análises estatísticas das medições obtidas nas condições de produção. O processo de medição é analisado com conceitos e ferramentas estatísticas já consagradas na área de controle estatístico de processos de produção (CEP), [...].

Esse tipo de enfoque é frequentemente empregado na área de metrologia dimensional em empresas que atuam na cadeia produtiva da indústria automobilística. Entretanto, os mesmos conceitos podem ser aplicados a qualquer processo de medição que atue na produção seriada.

Os resultados obtidos nessas análises são úteis:

- Como critério de aceitação de novos sistemas de medição.
- Para comparação entre Sistemas de Medições nas condições de uso.
- Para investigação de um sistema de medição sob suspeita de problema.
- Para comparar o desempenho do mesmo sistema de medição antes e depois de uma ajustagem ou regulagem.
- Para avaliar os potenciais riscos de erros de classificação de peças do sistema de medição.

Os procedimentos de análise estatística do desempenho de sistemas de medição são objeto de várias normas e diretrizes como a ISO/TS 16949 e normas ISO 9001, 10.012 e 14.253.

Segundo ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p.338) nos explicam sobre as recomendações de normas de garantia da qualidade:

Várias normas de garantia da qualidade trazem recomendações e definem os requisitos para verificar a confiabilidade metrológica de sistemas de medição que operam na produção. Algumas das normas são baseadas em análises de balanços de incerteza do processo de medição. Em outras, a confiabilidade metrológica é comprovada através de análises da capacidade estatística do processo de medição.

A norma **ISO 9001** define de forma abrangente que a incerteza da medição nas atividades de inspeção e testes deve ser conhecida e compatível com as exigências de confiabilidade requerida.

A norma **ISO 10012** traz a recomendação de que, ao medir e utilizar resultados, devem ser levadas em considerações todas as contribuições significativas na incerteza do processo de medição, incluindo aquelas atribuídas ao sistema e às influências dos operadores, dos procedimentos e do ambiente.

A norma **ISO 14253-1** define que a incerteza do processo de medição deve ser levada em consideração quando é analisada a conformidade de um processo ou de um produto diante de sua especificação. Essa recomendação leva em conta a redução da faixa de aceitação provocada pela presença da incerteza do processo no controle de qualidade [veja que OLIVEIRA et. al. (2003), já vistos os comentários, comenta da importância da implantação do Sistema de Gestão da Qualidade para que se garanta o comprometimento de todos com o objetivo de conquistar a excelência nos processos e produtos da empresa, e também comenta do tipo de qualidade voltada a produção]. A parte 2 dessa norma (**ISO 14253-2**) define uma metrologia para determinar a incerteza do sistema de medição na calibração e a incerteza do processo em operação.

A **ISO/TS 16949** é uma norma de garantia da qualidade do setor automotivo criada pelas grandes montadoras americanas. Ao contrário das normas da série ISO que trazem os requisitos de confiabilidade através da análise da incerteza de medição, a **ISO/TS 16949** define os requisitos de confiabilidade metrológica através de análises da capacidade estatística considerando a variabilidade dos resultados de cada sistema e de cada tipo de medição.

Nesta proposta, mais especificamente no Cap.3, é tratado somente as normas da série ISO 9001/2/3 e ISO 10012 como recomendações de normas da garantia da qualidade.

## **CAPÍTULO 3 – PROPOSTA DE MELHORIA DE SELEÇÃO DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO (RECOMENDAÇÕES)**

Com a base teórica do Cap. 2, este capítulo tem como objetivo realizar recomendações para o método de seleção de sistemas de medição de ALBERTAZZI e SOUSA através de associações a outras metodologias, normas e boas práticas de diversos autores da Metrologia Científica e Industrial como SOARES (1999), SOUZA e SOBRINHO (2005), TORREIRA (2002) e entidades normatizadoras, estabelecendo uma proposta de recomendações para a seleção dos sistemas de medição (como exemplo de SM de nível para sólidos e fluidos em aplicações industriais conforme referencial teórico) com as seguintes características:

1. Focar as recomendações realizadas no sistema de garantia da qualidade metrológica;
2. Focar as recomendações realizadas no desempenho de instrumentos de medição, métodos de medição e operador;

### **3.1 FOCO NO SISTEMA DE GARANTIA DA QUALIDADE METROLÓGICA**

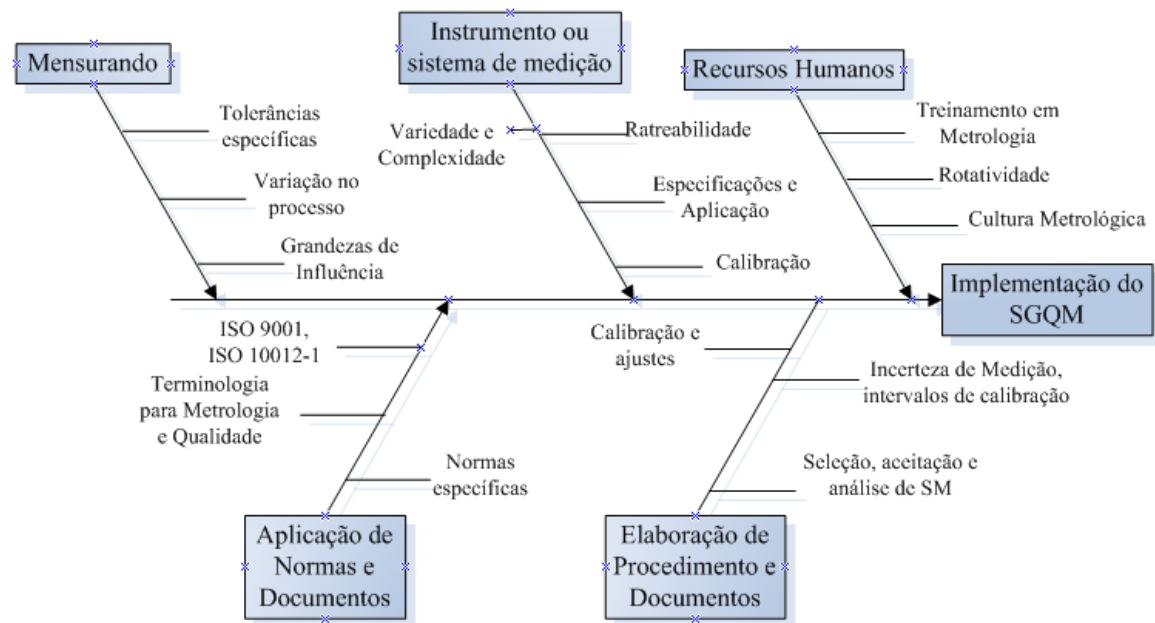
Segundo SOARES (1999), “o *Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica – SGQM é fundamental dentro de um sistema de qualidade. Sua implementação [ou implantação] envolve grande quantidade de requisitos e informações decorrentes da interação das atividades metrológicas.*”

Conforme a Fig. 31, SOARES (1999), mostra na implantação de SGQM vários elementos envolvidos no processo desde a documentação e normas até a elaboração de procedimentos de seleção de sistemas de medição e capacitação dos recursos humanos.

O procedimento de seleção de um sistema de medição (seleção, aceitação e análise do SM) no contexto da implantação do SGQM é apenas um ponto na elaboração de procedimentos e documentos, Recursos humanos, instrumentos, mensurando e normas da qualidade e está inter-relacionado a todos os demais requisitos do SGQM, podendo assim, complementar o método de seleção de SM de ALBERTAZZI E SOUSA. Esta visão nos leva a sistematização complexa da qualidade metrológica industrial. A sugestão é além de

configurar os parâmetros iniciais (caracterização da tarefa de medição), elaborar os critérios de avaliação (aspectos técnicos, logísticos e econômicos) e realizar as análises conforme mencionados no Cap.2 pelo método de ALBERTAZZI e SOUSA, deve-se ter uma visão sistêmica de todo o processo de qualidade metrológica, *envolvendo todos os requisitos* do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica. Muitos desses requisitos foram também abordados no Cap.2 por ALBERTAZZI e SOUSA, como a incerteza da medição, o treinamento em metrologia, a variedade e complexidade dos sistemas ou instrumentos de medição (conforme visto na Revisão Teórica do Cap. 2) e entre outros, devem ser enfatizados nesta síntese.

*Fig. 31 – Elementos ou requisitos metrológicos geralmente envolvidos no processo de implementação ou implantação do SGQM*



*Fonte: SOARES (1999)*

### 3.1.1 Metrologia na Garantia da Qualidade e os requisitos metrológicos

Segundo SOARES (1999, p.5), enfatiza a importância da metrologia na garantia da qualidade dos resultados das medições, bem como os requisitos metrológicos atualmente exigidos:

A metrologia exerce papel fundamental dentro do Sistema de Garantia da Qualidade, dando a base técnica para a tomada de decisões corretas nas atividades de avaliação dos produtos e dos processos. A garantia e a demonstração da confiabilidade dos resultados de

medições nas avaliações de conformidade são requisitos fundamentais exigidos nos sistemas de Garantia da Qualidade baseados nas normas Série ISO 9000.

“A **sistematização de procedimentos** para estabelecimento de limites de conformidade, para a realização de calibração/verificação/ensaios, para análise de dados e para documentação, constitui o sistema de garantia da qualidade.” (SILVA, 2004, p.33, grifo nosso).

Garantia da Qualidade, segundo ISO/ABNT NBR 8402 apud SOARES (1999 p.5), [...] é definida como um conjunto de atividades planejadas e sistemáticas, implementadas no sistema da qualidade e demonstradas como necessárias, para prover confiança adequada de que a entidade atenderá os requisitos para a qualidade.

Ainda segundo SOARES (1999 p.5), a comprovação de que os requisitos de qualidade são cumpridos, realizada pela avaliação direta do cliente ou por organismo independente [entidades competentes credenciadas pelo INMETRO], serve para prover confiança à administração da empresa e aos clientes externos satisfazendo questões contratuais.

Conforme SOARES (1999, p.6), sobre a garantia da qualidade metrológica, nos diz:

*Diariamente decisões importantes são tomadas nas empresas, tendo como base resultados de inspeção, medição e ensaios. Dessa forma, garantir resultados de medições confiáveis é fator decisivo para a sobrevivência da empresa. Algumas dessas decisões incluem:*

- a) Liberar ou segregar um lote produzido após ensaios finais realizados;
- b) Adquirir um sistema de medição (por exemplo, uma máquina de medição por coordenadas – MMC) com base nos resultados de ensaios realizados;
- c) Climatizar setores da fábrica onde são realizadas medições, inspeções ou ensaios, baseada em estudos experimentais envolvendo medições e ensaios;

“Assim sendo, o reconhecimento da necessidade da garantia da qualidade metrológica é o início que não deverá sofrer interrupções, tornando-se mais consciente, abrangente e aplicável” (SILVA, 2004, p.33).

Podemos associar as considerações citadas acima, sobre em se obter medições confiáveis, com as considerações já vistas no Cap.2 por ALBERTAZZI e SOUSA, na página 56, no item “i” Aspectos técnicos e no subitem “i”, Grau de Automação, sobre “a compatibilidade do SM com as estratégias de controle de qualidade”, ou seja, **a aquisição de um sistema de medição deve estar atrelada a estratégia da qualidade metrológica definida para a confiabilidade à que se deseja**. Também relacionado no item “iii”, aspectos econômicos da página 60, subitem “b”, custos operacionais, subitem “1”, onde comenta sobre **“a preparação do ambiente metrológico”**, ou seja, deve ser levado em consideração que a preparação dos setores da fábrica onde são realizadas as medições com(s) o Sistema(s) de



Medição selecionado(s), gera custos operacionais e conseqüentemente uma maior confiabilidade metrológica.

No contexto da garantia da qualidade industrial, confiabilidade metrológica significa a capacidade do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica – SGQM desempenhar conforme requisitos definidos, a “função da qualidade das medições”. (SOARES, p.6, 1999)

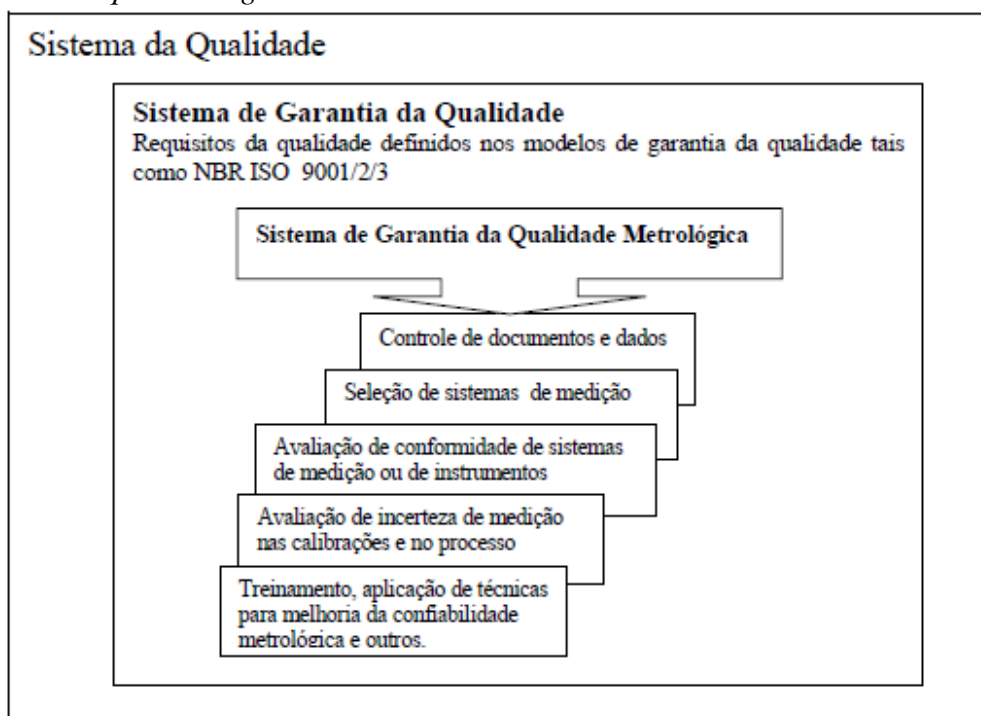
E conforme THEISEN (1997) apud SOARES (p.6, 1999), essa capacidade é avaliada, por exemplo, através de auditorias, programas interlaboratoriais, entre outros. Alcançar a condição de confiabilidade metrológica para um sistema metrológico, em uma empresa, envolve muitos fatores, tais como: **garantia de sistemas ou instrumentos de medição calibrados** [conforme ALBERTAZZI e SOUSA comenta nos Aspectos Logísticos, item “ii”, em Atendimento pós-venda, subitem “b”, sobre as calibrações periódicas, p.58], **operadores qualificados** [conforme ALBERTAZZI e SOUSA comenta também no mesmo item, a importância da capacitação dos técnicos e operadores do SM a selecionar. Comenta também nos Aspectos Econômicos, item “iii”, em investimento inicial, subitem “a”, no custo de preparação, subitem “2”, p.60, sobre o custo inicial para a capacitação dos técnicos e operadores do SM a selecionar. Também no item custos operacionais, subitem “b”, no item mão-de-obra, subitem “2”, p.61, comenta sobre os custos operacionais em treinamento para operadores e técnicos de metrologia para quando a aquisição de novos sistemas], **uso efetivo de métodos para o controle da qualidade metrológica** [fator a ser considerado como recomendação na proposta de ALBERTAZZI e SOUSA, ou seja, inserir o SM candidato aos aspectos econômicos, item “iii”, em custos operacionais, subitem “b”, p.60, como método de controle e de inspeção periódica e também como treinamentos de gerenciamento e controle], **cultura metrológica da empresa** [fator também a ser considerado em aspectos econômicos, item “iii”, da metodologia de ALBERTAZZI e SOUSA, como um impacto ou não, com relação ao SM candidato. Neste caso o fator está relacionado à capacitação e a conscientização da importância da qualidade metrológica], entre outros.

Segundo SOARES (1999, p.7), para um sistema de medição, confiabilidade metrológica refere-se à sua capacidade de fornecer resultados de medições confiáveis conforme condições de utilização definidas.

“Independente do sistema de qualidade implementado, esse deve conter um sistema de garantia da qualidade. O Sistema de Qualidade Metrológica – SGQM, contém requisitos necessários para garantir e comprovar a confiança nos resultados das medições.” (SOARES, 1999).

Podemos verificar na Fig.32 que a garantia da qualidade e a garantia da qualidade metrológica estão inserida como elementos em um sistema de qualidade genérico. A seleção de sistemas de medição é uma fração do sistema de garantia da qualidade metrológica e está relacionada às demais frações, com os documentos e dados (informações metrológicas), com a avaliação de conformidade de sistemas de medição ou de instrumentos, com a avaliação de incerteza de medição nas calibrações e no processo e também relacionada com os treinamentos e aplicações de técnicas para a melhoria da confiabilidade metrológica.

*Fig. 32 – Garantia da qualidade e garantia da qualidade metrológica inserida em um sistema de qualidade genérico.*



*Fonte: SOARES (1999)*

### 3.1.2 Norma ISO 10012-1/1993 Requisitos de garantia da qualidade para equipamentos de medição

Conforme SOARES (1999, p.13) comenta sobre o Sistema de comprovação metrológica para equipamentos de medição da Norma ISO 10012-1/1993:

A norma contém requisitos mínimos de garantia de qualidade para que um fornecedor possa comprovar aos seus clientes que o sistema de comprovação metrológica implementado é capaz de demonstrar a conformidade do produto com a especificação dentro da exatidão pretendida. A norma atual enfatiza o controle apenas sobre os sistemas de medição. Outros componentes do processo de medição tais como operador, método de medição e condições ambientais é tratado nos documentos ABNT ISO/IEC GUIA 25, NBR ISO 9004-1 e NBR ISO 10012-2. E

quanto ao emprego de termos metrológicos, a norma faz referência ao “*International vocabulary of basic terms in metrology*” editado em 1984.

A norma ISO 10012-1/1993, norma complementar da ISO 9001/2/3 é apenas aqui, citada como referências aos requisitos mínimos da garantia da qualidade, e não são sintetizadas nas recomendações da proposta deste trabalho. No item a seguir são utilizados os itens 4.11.1 e 4.11.2 de forma abrangente com relação à incerteza da medição.

### 3.1.3 Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica segundo a ISO 9001/2/3

Segundo ARAUJO (1995) apud SOARES (1999), deve-se atentar para a forma como é abordada a questão da garantia da qualidade metrológica nas normas contratuais NBR ISO 9001/2/3. Verifica-se que o enfoque no controle dos sistemas de medição usados na demonstração de conformidade de produto ou processo, aliado a forma lacônica com que são abordados os requisitos metrológicos.

Abaixo são transcritas das normas ISO 9001/2/3 (item 4.11), análises dos requisitos metrológicos e com os comentários de SOARES (1999):

a) “4.11.1 Generalidades:

*O fornecedor deve estabelecer e manter procedimentos documentados para controlar, calibrar e manter os equipamentos de inspeção, medição e ensaios (incluindo “software” de ensaio) utilizados pelo fornecedor para demonstrar a confiabilidade do produto com os requisitos especificados. Os equipamentos de inspeção, medição e ensaios devem ser utilizados de tal forma, que assegurem que a incerteza das medições seja consistente com a capacidade de medição requerida.*

*Quando o “software” para ensaios ou referências comparativas, tais como materiais e equipamentos para ensaio, são utilizados como meio adequado de inspeção, eles devem ser conferidos, para provar que são capazes de verificar a aceitabilidade do produto, antes da liberação do uso, e devem ser reconferidos a intervalos preestabelecidos. O fornecedor deve estabelecer a extensão e a frequência de tais verificações e deve manter registros como evidência de controle.*

*Quando a disponibilidade de dados técnicos relativos a equipamentos de inspeção, medição e ensaios for um requisito especificado, tais como devem estar disponíveis, quando requeridos pelo cliente ou seu representante, para a verificação da adequação funcional dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios.”*

Aspectos importantes:

- Necessidade de elaboração formal para controle, calibração e manutenção somente para aqueles sistemas ou instrumentos de medição (incluindo “software” para ensaios) que demonstrem a conformidade de produtos ou processos com os requisitos especificados.
- Para os sistemas e instrumentos de medição utilizados para demonstrar conformidade, devem ser avaliadas as incertezas de medições e que essas sejam adequadas às tolerâncias definidas para as grandezas significativas medidas;

- Para o caso de “software” de ensaio ou planilha de cálculos (comumente desenvolvida em aplicativos como Excel®) utilizados como meio de provar a aceitabilidade de um produto ou processo, faz-se necessário estabelecer formalmente um processo de validação a intervalos preestabelecidos.

b) *“4.11.2 Procedimento de controle*

*O fornecedor deve:*

- a) *Determinar as medições a serem feitas e a exatidão requerida, e selecionar os equipamentos apropriados para a inspeção e ensaios com exatidão e precisão necessárias;”*

Aspectos importantes:

- Medir apenas as grandezas específicas significativas (normalmente são aquelas que estão especificadas em projeto ou que definem a qualidade do produto ou processo).
- Selecionar corretamente os sistemas de medição, levando em consideração as tolerâncias das grandezas específicas significativas e a incerteza do processo de medição com o sistema ou instrumento de medição selecionado.

*“ b) identificar todos os equipamentos de inspeção e ensaios que possam afetar a qualidade do produto e calibrá-los e ajustá-los a intervalos prescritos ou antes do uso, contra equipamentos certificados que tenham uma relação válida conhecida com padrões nacional ou internacionalmente reconhecidos. Quando não existirem tais padrões, a base utilizada para calibração deve ser documentada;”*

*“c) definir o processo empregado para a calibração de equipamentos de inspeção, medição e ensaios, incluindo detalhes como: tipo do equipamento, identificação única, localização, frequência de conferência, método de conferência, critérios de aceitação e a ação a ser tomada quando os resultados forem insatisfatórios;”*

Aspectos Importantes:

- Procedimentos de calibração, cálculos de incerteza, intervalos de calibração e critérios de aceitação, preferencialmente referenciados por normas.
- Procedimentos formais para ações preventivas e corretivas de não conformidades.

*“d) identificar equipamentos de inspeção, medição e ensaios com um indicador adequado, ou registros de identificação aprovados, para mostrar a situação da calibração;”*

*“e) manter registros de calibração para os equipamentos de inspeção, medição e ensaios;”*

*“f) avaliar e documentar a validade dos resultados de inspeção e ensaios anteriores quando os equipamentos de inspeção, medição ou ensaios forem encontrados fora de aferição;”*

Aspecto importante:

- Estabelecer formalmente uma sistemática de avaliação de resultados de medições, com pessoal tecnicamente qualificado e infraestrutura para medições e ensaios adicionais;

*“g) assegurar que as condições ambientais sejam adequadas para as calibrações, inspeções, medições e ensaios que estejam sendo executado;”*

Aspecto importante:

- Avaliar os efeitos das condições ambientais sobre a incerteza do processo de medição ou calibração, considerando aspectos como custos e nível de incerteza requerida para a medição. Recomenda-se a documentação dos resultados da avaliação.

*“h) assegurar que o manuseio, preservação e armazenamento dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios sejam tais, que a exatidão e adequação ao uso sejam mantidas;”*

Aspectos importantes:

- Estabelecer formalmente programas de treinamento em metrologia e áreas afins;
- Possuir infraestrutura adequada de pessoal e de instalações para o uso e guarda corretos dos sistemas ou instrumentos de medição e acessórios.

*“i) proteger as instalações de inspeção, medição e ensaios, incluído tanto materiais e equipamentos como “softwares” para ensaios, contra ajustes que possam invalidar as condições de calibração.”*

Aspecto importante:

- Elaborar procedimentos documentados para a garantia da inviolabilidade dos sistemas de medição e “softwares” utilizados, e a garantia de confidencialidade dos resultados de medições, inspeções e ensaios, quando apropriado.

É verificado pelo exposto segundo SOARES (1999), que o processo de implementação de um Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica exige habilidade no trato de questões relacionadas com:

- A capacidade de planejamento e gerenciamento das diversas informações e requisitos envolvidos na implementação do SGQM;
- A correta aplicação dos conhecimentos de metrologia e áreas afins, e o profundo conhecimento do processo de produção envolvido.

### 3.1.4 Síntese das recomendações do Sistema de Garantia da Qualidade metrológica na Metodologia de Seleção de Sistemas de Medição por ALBERTAZZI e SOUSA

Podemos sintetizar as recomendações do Sistema de Garantia da Qualidade metrológica citados nos itens 3.1 ao item 3.1.3 (conforme considerações de SOARES (1999) e autores citados e pelas Normas da série ISO 9001/2/3) na metodologia de Seleção de Sistemas de Medição de Albertazzi e SOUSA (2008):

#### ***1ª Recomendação:***

A aquisição de um sistema de medição deve estar atrelada a estratégia da qualidade metrológica definida para a confiabilidade à que se deseja.

#### ***2ª Recomendação:***

Quando a aquisição de um SM está atrelada à estratégia da qualidade metrológica deve-se obter uma visão e conhecimento sistêmico de todo o processo de qualidade metrológica, *envolvendo todos os requisitos* do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica.

**3ª Recomendação:**

Além dos requisitos metrológicos informados por ALBERTAZZI e SOUSA dentro dos aspectos técnicos, logísticos e econômicos, podemos citar outros e reforçar alguns, dentro da visão e conhecimento sistêmico do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica: nos Recursos Humanos obter informações sobre treinamento rotatividade e sobre a cultura metrológica existente, sobre os instrumentos de medição, obter informações sobre a variedade e complexidade dos instrumentos, calibração, especificações e aplicação e rastreabilidade. Sobre o mensurando obter informações das tolerâncias específicas, variações no processo e grandezas de influências. Sobre a aplicação de Normas e documentos, obter informações das Normas específicas, sobre a Série ISO 9001/2/3 e ISO 10012-1 e conhecimento da terminologia de metrologia e qualidade. Sobre a elaboração de procedimentos e documentos, obter informações de incertezas de medições, intervalos de calibração, ajustes e calibrações e sobre a seleção, análise e aceitação do SM (este visto no processo de seleção do SM por ALBERTAZZI e SOUSA).

**4ª Recomendação:**

Realizar auditorias, programas interlaboratoriais e outros métodos para a obtenção da confiabilidade metrológica na implementação do SGQM que demandam de vários fatores:

- a) O fornecedor do SM deve estabelecer e manter procedimentos e documentados para controlar, calibrar e manter os equipamentos de inspeção, medição e ensaios (incluindo “software” de ensaio) utilizados pelo fornecedor para demonstrar a confiabilidade do produto com os requisitos especificados.
- b) Realizar calibrações periódicas nos SM adquiridos;
- c) Manter registros de calibração para os equipamentos de inspeção, medição e ensaios, obtendo assim, um histórico metrológico para a confiabilidade metrológica atual e futura (novas aquisições);
- d) Manter registros das informações dos Sistemas de Medição, ou equipamentos de inspeção e ensaios em uso ou adquiridos e cujas informações devem estar disponíveis quando requeridos pelo cliente ou representante para a verificação da adequação funcional. Devem ser avaliadas as incertezas de medições e que essas sejam adequadas às tolerâncias definidas para as grandezas significativas medidas.

- e) Efetuar capacitação dos técnicos e operadores do Sistema de Medição a selecionar, bem como, reciclar os conhecimentos técnicos sobre aplicação de métodos e procedimentos. Reforçando também o que ALBERTAZZI e SOUSA comentam (aspectos econômicos, item “iii”, investimento inicial, subitem “a”, custo de preparação, subitem “2”, p.60): “Operadores mal qualificados não só cometem mais erros, como submetem o sistema a uso inadequado, o que compromete o desempenho metrológico, e fatalmente, acelera a velocidade de deterioração do sistema, o que irá requerer manutenções e calibrações mais frequentes”;
- f) Usar efetivamente métodos para o controle da qualidade metrológica *[pode ser considerada uma sugestão no método de ALBERTAZZI e SOUSA em aspectos econômicos, item “iii”, em custos operacionais, subitem “b”, p.60-61, como método de controle e de inspeção periódica e também como treinamentos de gerenciamento e controle]*.
- g) Obter informações da cultura metrológica da empresa; *[pode ser considerada uma sugestão em aspectos econômicos da metodologia de ALBERTAZZI e SOUSA, item “iii”, como um impacto ou não, com relação ao SM candidato. Neste caso o fator está relacionado à capacitação e a conscientização da importância da qualidade metrológica]*.
- h) Selecionar corretamente os SM candidatos, levando em consideração as tolerâncias das grandezas específicas significativas e a incerteza do processo de medição.

Conforme já citado pela Norma ISO 9001/2/3 em seu item 4.11.2 e comentado por SOUZA (1999): “Medir apenas as grandezas específicas significativas (normalmente são aquelas que estão especificadas em projeto ou que definem a qualidade do produto ou processo).” e reforçando o que ALBERTAZZI e SOUSA (2008) comentam nos aspectos técnicos, item “i”, no subitem “c”, adequação da incerteza da medição (já citado na pág. 55): “é fundamental que o sistema de medição selecionado seja capaz de produzir resultados com incertezas de medição compatíveis com as necessidades da tarefa [...]”.

É Importante adicionar nesta recomendação, como um item a ser alertado e investigado com mais detalhes em futuros trabalhos, com relação às auditorias e programas interlaboratoriais, sobre a creditação do laboratório de calibração e de

ensaios de proficiência, por terceira parte (organismo de avaliação de conformidade) para a avaliação do desempenho e da sua competência.

“O principal objetivo da atividade de creditação de laboratórios é de fornecer confiabilidade ao usuário final dos equipamentos calibrados e produtos de ensaiados. Os laboratórios creditados devem implementar e manter um sistema adequado à norma NBR ISO/IEC 17025 (ISO 17025)”. (SILVA, 2009, p.18).

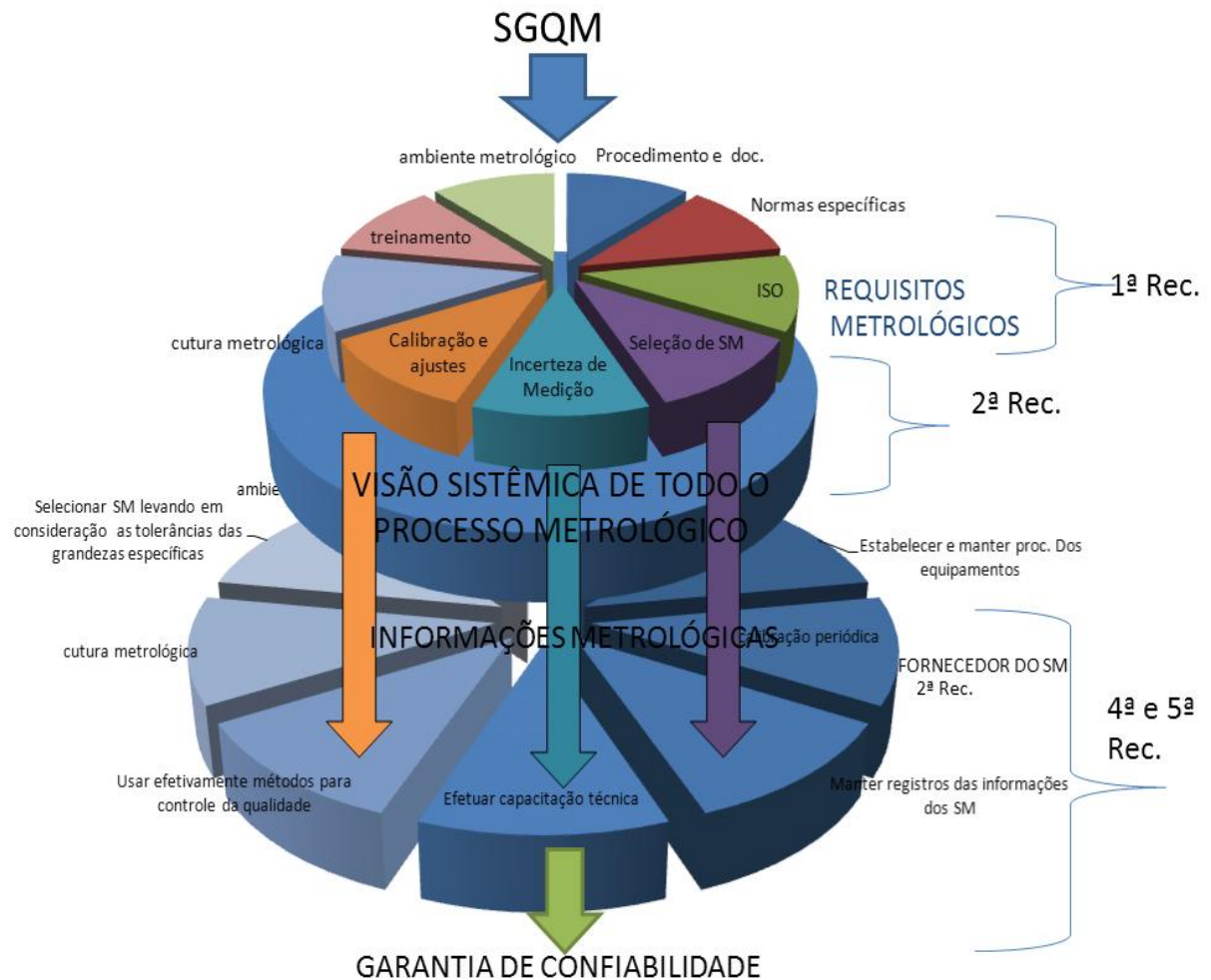
#### ***5ª Recomendação:***

Com relação ao controle dos procedimentos citados na 4ª recomendação, item “d” e pela norma ISO 9001/2/3 (já citado na pág. 76), deve-se efetuar os registros, avaliar e documentar, os equipamentos, os processos e os procedimentos de calibrações, inspeção e ensaios, bem como os procedimentos preditivos e corretivos das calibrações efetuadas pelos fornecedores dos equipamentos adquiridos, sendo que estas informações de aspectos técnico, econômico e logístico são de grande importância no método da seleção, análise e aquisição, atual e futura, de Sistemas de Medição. É importante ressaltar que a aplicação de Normas e a elaboração de documentos é um dos requisitos metrológicos do SGQM.

Pode-se verificar que as recomendações e reforços estão voltados ao foco da qualidade metrológica na implementação do SGQM para a obtenção da confiabilidade metrológica, como mostra a Fig. 33 e muitos aspectos condizem e se alinham com a metodologia de ALBERTAZZI e SOUSA (2008), com as Normas Série ISO 9001/2/3, Normas ISO 10012-1 e comentários de SOARES (1999), onde podemos concluir que é de grande importância, além de destacar a configuração dos parâmetros iniciais (caracterização da tarefa de medição), da elaboração dos critérios de avaliação (aspectos técnicos, logísticos e econômicos) por ALBERTAZZI e SOUSA, devemos cuidar conforme as Normas e outros autores, da documentação, registro, controle, avaliação das informações das medições, inspeções e ensaios realizados com os SM candidatos ou adquiridos, bem como da capacitação técnica, da cultura metrológica e dos vários requisitos metrológicos citados neste trabalho. O assunto não se esgota neste trabalho e Informações mais detalhadas sobre a confiabilidade metrológica e sobre as Normas de Qualidade ligadas ao Sistema de Qualidade Metrológica poderão ser visualizadas no trabalho de dissertação de SOARES (1999) e em suas referências bibliográficas.



Fig. 33 – esquema da análise da 1ª à 5ª recomendação, apartir da implementação do sistema de garantia da qualidade metrológica com a aquisição de Sistemas de Medição até a obtenção da confiabilidade metrológica requerida. As várias recomendações: A primeira recomendação sugere a obtenção do Sistema de Garantia da qualidade Metrológica, a segunda recomendação sugere o conhecimento sistêmico, a terceira recomendação sugere a obtenção das informações metrológicas e a quarta e quinta recomendação sugerem a obtenção da confiabilidade metrológica.



Fonte: Autor.

### 3.2 RECOMENDAÇÕES COM FOCO NO DESEMPENHO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO, MÉTODOS DE MEDIÇÃO E DO OPERADOR

Segundo SOUZA e SOBRINHO (2005, p.28) , para escolher o equipamento mais adequado a uma medição ou no projeto de um instrumento específico, o critério de desempenho é fundamental. O desempenho fornece uma base quantitativa para comparar um instrumento com outro, o que permite fazer uma escolha inteligente.

SOUZA e SOBRINHO (2005) definem vários parâmetros de medição (requisitos para a medição) relacionados como os Erros e Incertezas, onde podemos associar, reforçar e adicionar estes requisitos ao conjunto de parâmetros que caracterizam a tarefa de medição na 1ª etapa da metodologia de ALBERTAZZI e SOUSA”:

- Erros de incerteza de medição;
- Tipos de erros de medição;
- Erros de operador;
- Erros de método;
- Erros de instrumento.

Nas quais estão associadas às características de desempenho:

- Linearidade; repetitividade; resolução; sensibilidade; histerese; legibilidade;
- Faixas de erro; precisão; acurácia; faixa útil.

#### 3.2.1 Erros e Incerteza de medição

Segundo SOUZA e SOBRINHO (2005, p.28) comentam sobre os erros e incertezas de medições com relação ao desempenho operacional e metodológico:

Nenhuma medição é absolutamente exata. Toda medição envolve aspectos de método, aspectos de operação e o desempenho dos instrumentos utilizados. [...]

Nenhum instrumento é absolutamente exato. Assim sendo o desempenho de um instrumento tem a ver com a sua capacidade de efetuar uma medida e torna-la legível, isto é, possibilitar a obtenção de um valor medido, com uma incerteza previsível em relação ao valor da grandeza medida. A quantificação desse desempenho pode ser feita em relação a propriedades mensuráveis que caracterizam o instrumento. [...]

Tanto por problemas de método como por problemas de operação, como pelo fato de que não existe um instrumento ideal, surgirão diferenças entre o valor que deveria ser obtido e o valor que efetivamente é obtido pela medição. A diferença quantitativa entre o valor que deveria ser obtido e o valor efetivamente obtido é chamada de erro da medição. Cada uma das contribuições para essas diferenças é

um erro elementar, de forma que se pode dizer que existem erros de métodos, de operação e de instrumentos.

A incerteza decorre do fato de que o valor que deveria ser obtido na medição é desconhecido. Esse valor, conhecido como valor verdadeiro, ou valor real da grandeza medida é desconhecido e impossível de determinar.

Toda a medição apresenta um erro em relação ao valor verdadeiro da grandeza medida. Este valor fica portanto, inacessível, impedindo o cálculo das discrepâncias de medições individuais. Entretanto é possível estimar com que aproximação à grandeza é medida, obtendo-se um valor para a **incerteza de medição**. Nota-se que a incerteza é uma característica da medição, não do instrumento. A incerteza de medição é definida pelo “Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais da Metrologia – VIM, como:

Parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos ao mensurando.

Observações:

1. O Parâmetro pode ser, por exemplo, um desvio padrão (ou um múltiplo dele), ou a metade de um intervalo correspondente a um nível de confiança estabelecido.
2. A incerteza de medição compreende, em geral muitos componentes. Alguns destes componentes podem ser estimados com base na distribuição estatística dos resultados das séries de medições e podem ser caracterizados por desvios experimentais. Os outros componentes, que também podem ser caracterizados por desvios padrão, são avaliados por meio de distribuição de probabilidade assumidas, baseadas na experiência ou em outras informações.
3. Entende-se que o resultado da medição é a melhor estimativa do valor do mensurando, e que todos os componentes da incerteza, incluindo aqueles resultantes de efeitos sistemáticos, com os componentes associados com correções e padrões de referência, contribuem para a dispersão” (Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia, portaria Inmetro 029 de 1995).

#### ***Tipos de erros de medição:***

Erros podem ser decorrentes de: operador, método ou instrumento.

- 1) *Erros de operador:* Os erros pessoais podem ser erros grosseiros e erros aleatórios. Erros pessoais grosseiros são aqueles que seriam considerados ‘erros’ no sentido usual do termo, isto é, corresponde a enganos e leituras errôneas. Os mais comuns são devidos à troca de dígitos (como ler 10,345 em vez de 10,354), ao posicionamento incorreto da vírgula decimal e à atribuição do valor errado a uma subdivisão de escala gráfica. É óbvio que esses erros podem e devem ser eliminados dos processos de medida, através do cuidado, de preocupações e de verificações de medidas.

Erros pessoais sistemáticos são raros mas podem ocorrer, por exemplo, por paralaxe na leitura de um instrumento de ponteiro com o mostrador em ângulo com a linha de visada. Podem, também resultar de dificuldades de operação como por exemplo apertar excessivamente as abas de um paquímetro ao medir um objeto compressível. São com grau de dificuldade variável, passíveis de correção parcial, se bem sucedida, restarão resíduos de natureza aleatória.

Erros pessoais aleatórios ocorrem tipicamente na interpolação de leituras de ponteiros e gráficos e sua digitalização, na interpretação de leituras de nônio e no arredondamento de leituras digitais. Podem também resultar de dificuldades de operação como por exemplo, o desligamento entre a linha de medição de um paquímetro e o comprimento a ser medido. São via de regra, inevitáveis, mas podem ser avaliados e, talvez, algo reduzido através de processos estatísticos ou outros.

TORREIRA (2002, p.24) comenta também sobre os erros de operador: “Os erros humanos são causados pela observação defeituosa por parte das pessoas, quando na leitura de um instrumento. O erro mais neste caso é o erro de paralaxe, proveniente quando a vista do

observador, a ponta do ponteiro e o valor indicado pelo instrumento não se situam em um plano vertical em relação ao plano da escala.”. Para reduzir o erro de paralaxe, usam-se instrumentos portáteis e espelhos nas escalas ou instrumentos digitais.

“Outro aspecto relevante quanto à garantia da qualidade metrológica [e consequentemente ligado à existência e desempenho do método, composto de procedimentos específicos] diz respeito à escolha dos métodos empregados no controle metrológico que de acordo o Guia para Expressão da Incerteza da Medição (1997, p. xvii) [sem a indicação quantitativa do resultado de uma medição não é possível avaliar a conformidade e é necessário que haja procedimentos implementados] [...]” (SILVA, 2004, p.34).

Segundo SOUZA e SOBRINHO (2005, p.28) comenta sobre o segundo tipo de erros:

2) *Erros de método:*

Erros metodológicos podem ser sistemáticos ou aleatórios e são causados por problemas ligados ao método de medição, podendo ou não interagir com características dos instrumentos envolvidos. São erros de diversas e variadas origens e, sendo impossível esgotar o assunto, daremos alguns exemplos:

- a) *Inadequação da base teórica usada no método de medição:*  
Exemplo: medidas feitas sobre um modelo físico usadas como estimativa de valores encontráveis no protótipo do modelo. A transferência dos valores do modelo para o protótipo é feita através de relações de semelhança que podem ser aproximações da realidade contendo inexatidões.
- b) *Inexatidão das relações usadas para obter resultados de medição:*  
Erros metodológicos deste tipo ocorrem quando se usa uma expressão aproximativa para uma função experimentalmente determinada que liga as variáveis diretamente medidas à grandeza a determinar. Exemplo: aproximar a função  $V = f(\Delta T)$  de um termopar por uma reta.
- c) *Dificuldades e limitações da instalação do sistema de medição:*  
Exemplo: O comprimento e o volume da conexão de um transdutor de pressão ao ponto cuja pressão se quer medir, introduzirão erros dinâmicos nas medições, que serão consideráveis se a pressão variar com certa rapidez. Contribui para o problema o volume interno do transdutor. [...].
- d) *Influência do Instrumento sobre a grandeza medida:* Para medir é preciso retirar energia do fenômeno investigado e essa quantidade de energia pode afetar significativamente o valor da grandeza a medir.

Além dos erros de operador e método, ainda podem ocorrer erros de fabricação, podendo ser erros inerentes e ocasionais e segundo TORREIRA (2002, p.26), “os erros inerentes são aqueles que todo instrumento tem, mas que ainda estão dentro das tolerâncias permitidas pelas normas. E os erros ocasionais são devidos ao emprego de materiais inadequados ou fabricação mal executada.”. E estes mesmos erros segundo TORREIRA (2002) provêm de fatores como: mecânicos (descuido de projetos ou escolha de materiais), de influência (erros da temperatura do ambiente, posição de trabalho do instrumento, indução

magnética externa, campo elétrico externo, etc.) e de aferição (são erros nas escalas dos instrumentos quando da aferição).

No parâmetro sugestivo da Tabela 1, item “incerteza de medição”, um dos requisitos relevantes que caracterizam a tarefa de medição, apresentado no esquema da metodologia de ALBERTAZZI e SOUSA, na pág.50, que estabelece que a incerteza de medição seja da ordem de um décimo do intervalo de tolerância, podemos adicionar os de erros de medição por método, pelo operador e por instrumentos, conforme apresentados anteriormente por SOUZA e SOBRINHO (2005), TORREIRA (2002) e SILVA (2004).

Portanto pode-se recomendar no método de ALBERTAZZI e SOUSA (2008) com relação ao desempenho afetado pelos erros realizados por operador, método e/ou instrumento de medição:

#### ***6ª Recomendação:***

Devem-se eliminar erros pessoais grosseiros e erros pessoais aleatórios no processo de medição através de novas verificações das medições obtidas e do cuidado do registro destas informações através da conscientização da “importância da medição” e também através da capacitação do operador, conforme mencionado por SOUZA e SOBRINHO (2005), sobre os “erros de operador”, item “1” dos “tipos de erros de medição” da pág. 81 e também na **4ª recomendação**, no item “g”, pág. 77, deste trabalho.

Idem para os erros pessoais sistemáticos, deve-se portanto também eliminá-los através da conscientização e da capacitação metrológica, bem como utilizar equipamentos onde a leitura nos instrumentos de medição seja de fácil visualização ao operador, reforçando o comentário feito por ALBERTAZZI e SOUSA (2008), citado neste trabalho, no item sobre a importância do requisito técnico, item “i”, “Resolução”, subitem “d”, pág. 55.

Os erros aleatórios ou sistemáticos também podem surgir pela aplicação da metodologia de medição inadequada e podem ter a causa de várias origens como informa SOUZA e SOBRINHO (2005) no item “2”, “erros de método”, da pág. 82 deste trabalho. Conforme ALBERTAZZI e SOUSA (2008, p.313), no item “10.2.6”, “incerteza de medição”, no seu livro, comenta uma maneira de eliminar estes erros (em aplicações não destinadas ao controle de qualidade), aplicando certa incerteza necessária ao processo de medição através de Normas e Recomendações Técnicas. Podemos sugerir em aplicações não destinadas ao controle de qualidade, a aplicação da **1ª a 5ª recomendação** deste trabalho, atrelando assim também ao processo de medição às estratégias de qualidade metrológica que conferem as Normas e Recomendações Técnicas. Não se esgota aqui as recomendações sugeridas que devem ser feitas aos métodos de medição e que podem

constituir futuros trabalhos associados às Normas, recomendações técnicas e boas práticas utilizadas no campo metrológico.

### 3.2.2 Desempenho de Instrumentos de Medição e Método.

Segundo SOUZA e SOBRINHO (2005, p.28) comentam sobre os erros e incertezas de medições com relação ao desempenho dos instrumentos de medição e as características para avaliar o seu desempenho:

#### *i) Erros de Instrumentos:*

Os instrumentos introduzem diversos tipos de erros nas medições, o que limita a sua exatidão e/ou aumenta a incerteza dos resultados. Esses erros podem ser sistemáticos ou aleatórios e entre alguns deles pode haver correlações mais ou menos significativas.

Os erros tolerados, ou determinados quando da calibração do instrumento ou estimados em função de características do projeto deste, resultam em características que podem ser qualificadas por valores ou faixa esperada do valor de uma característica estatística de desempenho.

As características sistemáticas (ou determinísticas) são aquelas que podem ser quantificadas, tão exatamente quanto for possível, quando da calibração do instrumento. Diferem das características estatísticas, que não podem ser quantificadas exatamente. Para estas podemos apenas definir uma faixa esperada do valor de uma característica estatística de desempenho.

#### *ii) Características de desempenho:*

Se pensarmos na forma que os instrumentos são fabricados e utilizados, vemos que existem basicamente três tipos: instrumentos calibrados individualmente, fabricados em lote e instrumentos de alta reprodutibilidade. As características abaixo definidas são genéricas, podendo ser aplicadas a todos os tipos de instrumentos. Porém, cada um dos três tipos é mais bem descrito pelas características que são mais representativas.

1. *Instrumentos calibrados individualmente:* Muitos instrumentos são calibrados individualmente para atingir um determinado nível de desempenho. Pelo simples fato de serem calibrados individualmente, esses instrumentos são mais caros. Assim a calibração individual fica naturalmente restrita a instrumentos de melhor qualidade e maior preço. Exemplo: Sensor de pressão de alta qualidade. A característica mais significativa para avaliar o desempenho desse tipo de instrumento é exatidão.

2. *Instrumentos fabricados em lotes:* Instrumentos fabricados em lotes podem ter variações aleatórias em seu desempenho individual, porém com limites máximos de variação garantidos pelo fabricante. Exemplos: Multímetros com resistores de lote, frequentemente possuem ajuste de zero e de fundo de escala. A exatidão do restante da escala é função da linearidade. A característica mais significativa para avaliar o desempenho desse tipo de instrumento é a linearidade.

3. *Instrumentos com alto grau de repetibilidade:* O problema desses instrumentos é a resolução, já que o valor da grandeza medida é obtido por consulta a uma tabela de calibração. Exemplo: transdutor de pressão com cápsula de quartzo – cada instrumento traz sua tabela de interpolação individual. Ex: barômetros, manômetros e altímetros de alta resolução. A característica mais significativa para avaliar o desempenho desse tipo de instrumento é a reprodutibilidade.

Conforme TORREIRA (2002, p.51), com relação às características metrológicas dos instrumentos nos instrumentos e sistemas de medição elétrica: “As principais características que devem ser levadas em conta são: a sensibilidade, exatidão e erros, o consumo próprio ou resistência interna, sobrecargas.”. Com relação à exatidão TORREIRA (2002), comenta que “os instrumentos de medição estão classificados em classes de exatidão [erros humanos, de instalação e de fabricação]. Para que possam ser classificados em uma dessas classes, devem preencher diversos requisitos como erros de indicação conforme indicado, referente à variação de temperatura, aquecimento próprio, influência da frequência, [e outros][...]”.

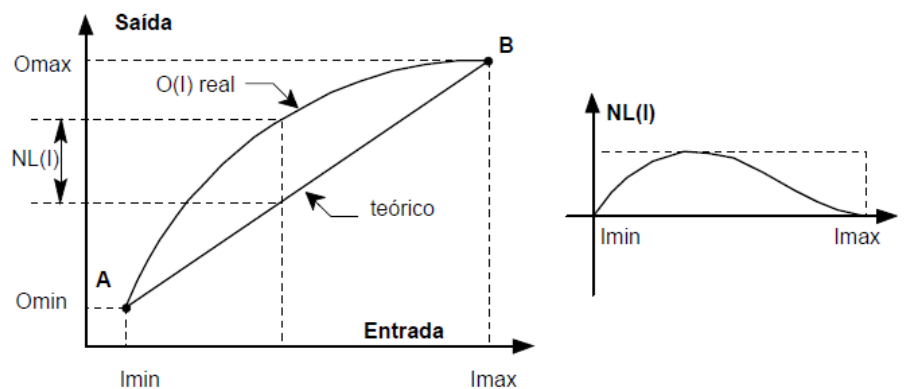
“A grande maioria dos Sistemas de medição apresenta [sic] uma característica de resposta nominal [...] linear, isto é, a correlação entre resposta e estímulo pode ser expressa por uma linha reta. O erro de linearidade é um parâmetro que exprime o quanto a característica de resposta real afasta-se de uma reta.” (FLESCHE, 1999) apud (DARRIGO, 2001, p.9).

E conforme SOUZA e SOBRINHO (2005, p.28):

**i) Linearidade:**

Embora um instrumento não linear possa ser altamente exato, em muitas aplicações é desejado utilizar um instrumento linear. Quando o equipamento é parte integrante de um sistema complexo de aquisição ou controle, por exemplo, o comportamento linear dos componentes simplifica o projeto e a análise do desempenho global. [...] Um Instrumento ou elemento de sistema de medição é linear se os seus valores de entrada e saída situarem-se sobre uma linha reta num gráfico da saída em função da entrada. A linha reta ideal liga o ponto de mínimo ( $I_{min}$ ,  $O_{min}$ ) ao de máximo ( $I_{max}$ ,  $O_{max}$ ).

Fig. 34- Linha reta Ideal e erro de linearidade



Fonte: SOUZA e SOBRINHO (2005)

“Não se encontrou uma norma específica para a linearidade. Segundo a literatura não existe um procedimento único para a determinação do erro de linearidade”. (HECKMANN; FLESCHE, 1998) apud (DARRIGO, 2001, p.9). Como os erros sempre são expressos em relação a retas de referência, é possível adotar diferentes critérios de ajustes dessas retas, como os

métodos terminal, independente e dos mínimos quadrados conforme a literatura em (FLESCHE, 1999) apud (DARRIGO, 2001).

Segundo SOUZA e SOBRINHO (2005, p.28, grifo nosso), comentam sobre a característica da reprodutibilidade e repetibilidade dos instrumentos e o uso de método de correção.

**v) Reprodutibilidade, repetibilidade:**

A repetibilidade é o limite superior provável das diferenças que serão observadas entre diversas medidas de um mesmo mensurando, feitas procedendo-se da mesma forma (p.ex. quando se aproxima o valor a ser lido pelo mesmo lado, isto é, sempre por valores superiores ou sempre por valores inferiores ao mensurando).

A reprodutibilidade é o limite superior provável das diferenças que serão observadas entre diversas medidas de um mesmo mensurando, feitas procedendo-se de formas variadas.

Como o que mais afeta a repetibilidade e a reprodutibilidade são as características não lineares, e as aleatórias (fixas ou variadas no tempo) dos instrumentos, elas são geralmente, dadas em % de plena escala ou em  $\pm x$  unidades. O problema aqui é que **os fabricantes geralmente cotam a repetibilidade e fica-se em saber a reprodutibilidade**. Pior ainda: não se sabe se o número cotado não é, por confusão conceitual, o da reprodutibilidade. [...] Para vários autores a repetibilidade ou a reprodutibilidade são considerados sinônimos de precisão. Isto dá a precisão um caractere quantitativo. Para a maioria dos autores, entretanto, precisão é um conceito qualitativo.

O conhecimento da repetibilidade e da reprodutibilidade permite, em certos (poucos) casos a confecção de uma tabela de correção de escala para o instrumento. Tal tabela, usada em conjunto com o instrumento permite que se apliquem correções locais aos valores lidos, superando-se assim os limites da exatidão básica do mesmo. Neste caso, a exatidão que se pode obter ao aplicar as correções aproxima-se do valor da repetibilidade ou da reprodutibilidade. Infelizmente, os casos em que isto é possível são raros e que aqueles em que isto é prático, mais raros ainda.

Conforme (FLESCHE, 1999) apud (DARRIGO, 2001, p.9) “A repetibilidade especifica a faixa de valores dentro do qual, com uma probabilidade estatística definida [valores entre 95%, 99% dos erros, dependendo da aplicação], se situará o erro aleatório de um instrumento ou sistema de medição para o ponto de medição considerado.

As características do desempenho dos instrumentos de medição, como a exatidão, linearidade, repetibilidade e reprodutibilidade, apresentados por SOUZA e SOBRINHO e DARRIGO são alguns exemplos das inúmeras características existentes e as mesmas podem ser verificadas no trabalho dos autores citados em “Instrumentos de Medidas e Sistemas de Instrumentação” e no “Desenvolvimento de Modelos do comportamento metrológico estático de instrumentos de medição, respectivamente, bem como em suas referências. O importante é recomendar e acrescentar características de desempenho dos instrumentos de medição como critérios de avaliação nos aspectos técnicos do sistema de medição a selecionar. ALBERTAZZI e SOUSA (2008) menciona (neste trabalho, na Tabela 1, na pág. 50 e também na pág. 55, item “c” e “d”) a “Resolução” e a “Incerteza de Medição” são aspectos



técnicos importantes, e devem ser avaliados como critérios na seleção dos sistema de medição. Também, conforme os comentários já apresentados por SOUZA e SOBRINHO (2005) no item “ii”, da pág. 84, sobre as “características do desempenhos dos instrumentos de medição”, podemos propor uma **7ª Recomendação** do uso da característica de linearidade e repetibilidade/reprodutibilidade como critérios técnicos dos sistemas/instrumentos de medição a serem selecionados, não sendo somente estas características esgotadas e podem ser apresentados novos critérios técnicos de desempenho como a sensibilidade, histerese, legibilidade, acurácia, alcance máximo, faixa útil, etc., e que podem ser aplicados de acordo com a necessidade da aplicação e do tipo do sistema de medição (*ver os variados sistemas de medição apresentados na revisão teórica deste trabalho, neste caso foram revisados como exemplos os sistemas de medição direto e indireto*). ALBERTAZZI e SOUSA adiciona um campo “outros aspectos particulares” na planilha de avaliação de aspectos técnicos (Tabela 2, pág.52-53) , onde também podemos acrescentar estes novos critérios de desempenho do Sistema de Medição a ser avaliado.

### 3.2.3 Síntese das recomendações do desempenho de instrumentos e métodos de medição e operador na metodologia de seleção de Albertazzi e SOUSA

Podemos sintetizar as recomendações do desempenho de instrumentos e métodos de medição e operador citados nos itens 3.2.1 e 3.2.2 (conforme considerações de (SOUZA e SOBRINHO(2005), SILVA(2004) e TORREIRA(2002)) para a metodologia de seleção de sistemas de medição de ALBERTAZZI e SOUSA:

#### **6ª Recomendação:**

- a) Deve-se eliminar erros pessoais grosseiros e erros pessoais aleatórios no processo de medição através de novas verificações nas medições obtidas e do cuidado do registro destas informações através da conscientização da “importância da medição” e também através da capacitação do operador.
- b) Para os erros sistemáticos, também devem ser eliminados através da conscientização e capacitação metrológica, bem como utilizar equipamentos onde a leitura nos instrumentos de medição seja de fácil visualização ao operador.
- c) Aplicar a 1ª à 5ª Recomendação desta proposta em aplicações não destinadas ao controle de qualidade, válido a qualquer metodologia de medição, adequando-a a

um sistema de qualidade metrológico e que conferem as Normas e recomendações técnicas.

***7ª Recomendação:***

Usar como critério técnico (requisitos metrológicos) de desempenho de instrumentos de medição como: linearidade e repetibilidade/reprodutibilidade (acrescentar ou substituir na planilha de critérios técnicos de ALBERTAZZI e SOUSA, Tabela 2, em “outros aspectos particulares”). Importante destacar que os critérios sugeridos e outros, implicam na dependência da aplicação do instrumento de medição. Outros critérios podem ser utilizados como: sensibilidade, histerese, incerteza da medição, alcance máximo, faixa útil, etc., verificar estas outras características do desempenho na referência: SOUZA e SOBRINHO (2005).

## CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.

### 4.1 CONCLUSÕES

Conclui-se neste trabalho que o objetivo geral de propor recomendações de melhorias na metodologia de seleção de sistemas de medição de ALBERTAZZI E SOUSA foi alcançado parcialmente na factibilidade, na usabilidade e utilidade pelas propostas referentes à *1ª à 5ª recomendação* do item 3.1.4 - “Síntese das recomendações do Sistema de Garantia da Qualidade metrológica na Metodologia de Seleção de Sistemas de Medição por ALBERTAZZI e SOUSA” e referente à *6ª e 7ª recomendação* do item 3.2 - “Recomendações com Foco no desempenho de Instrumentos de Medição, Métodos de Medição e do Operador”. Foi alcançada parcialmente na factibilidade, pois as recomendações podem ser executadas pela Metodologia de ALBERTAZZI e SOUSA como sugestões apartir das Normas da Série ISO 9001/2/3 e comentários apresentados por SOARES e também por SOUZA e SOBRINHO, sendo que a aplicabilidade das recomendações deste trabalho com a Metodologia de ALBERTAZZI e SOUSA está sujeita a realização em trabalhos futuros, como comentado no item 1.3 – Materiais e Métodos e no item 1.3.3 Método de Triangulação. Deve ser destacado que a factibilidade depende de vários fatores já mencionados neste trabalho, tais como, a imposição da execução de metodologias de seleção e/ou medição, devido à ausência de uma cultura metrológica ou da ausência de visão de qualidade ou de um sistema de qualidade. Com relação à usabilidade, foi atingida, pois pode ser aplicada de forma fácil através das planilhas de avaliação de aspectos técnicos, logísticos e econômicos da Metodologia de ALBERTAZZI e SOUSA. Foi alcançada na utilidade, pois como foi visto neste trabalho, mais especificamente na revisão teórica, a existência de uma grande variedade de Instrumentos de Medição e aplicações, além de uma variedade de cuidados a serem tomados na medição e a priori na seleção destes Sistemas de Medição. Estes cuidados estão referenciados a vários aspectos como os métodos de medição utilizados, a capacitação dos operadores, ao desempenho dos instrumentos, a cultura metrológica, a calibração periódica, as informações históricas e atuais dos instrumentos e procedimentos, o uso de Normas e especificações técnicas, etc.. Todos estes quesitos são importantes, mas deve ter um a atenção especial com relação à visão sistêmica para alcançar a qualidade metrológica ideal.

O trabalho também atingiu os objetivos específicos desta dissertação, pois foram revistos os conceitos de medição e medidores, suas aplicações industriais, a descrição em detalhes e através de uma forma esquemática a metodologia de ALBERTAZZI E SOUSA. Com relação à proposta de melhoria foram apresentadas no capítulo 3, as recomendações sintetizadas da literatura, conforme os autores citados, e associados à metodologia de seleção de sistema de medição de ALBERTAZZI e SOUSA.

Pode-se também concluir através de uma análise geral das sínteses apresentadas no Cap. 3, com foco na garantia da qualidade e no desempenho dos Sistemas de medição, métodos e operador, que as recomendações propostas possuem uma abordagem para a obtenção da confiabilidade metrológica. A partir da ideia que, ao realizar a aquisição de um sistema de medição deve-se verificar a confiabilidade requerida, ou seja, qual é a necessidade de confiabilidade para determinadas aplicações industriais que possuem um sistema de qualidade. A primeira recomendação sugere a aquisição de um sistema de garantia da qualidade (SGQM), supondo a existência de um sistema de qualidade implantado (sistema genérico da qualidade) e conseqüentemente sugere a implementação da garantia da qualidade metrológica.

Quando é analisado ou selecionado um sistema de medição deve-se verificar a existência de um sistema da qualidade, e se este está, ou não, atrelado às recomendações ou normas que garantem a sua qualidade. Estes sistemas que garantem a qualidade, principalmente os apresentados neste trabalho pelas Normas NBR ISO 9001/2/3, apresentam modelos de garantia da qualidade, conforme citados na revisão teórica deste trabalho por ALBERTAZZI E SOUSA (pág. 67), especificadamente a ISO 9001, onde *“define de forma abrangente que a incerteza da medição nas atividades de inspeção e testes deve ser conhecida e compatível com a confiabilidade requerida.”*. A consequência de garantir a qualidade em processos de seleção, medição e calibração é definida pelos requisitos metrológicos, decorrentes das atividades metrológicas, e são eles que comprovam e garantem a confiança dos resultados das medições. A partir do pressuposto dos conhecimentos destes requisitos metrológicos para a obtenção da confiabilidade metrológica é sugerida a 2ª recomendação sobre a visão e o conhecimento sistêmico de todo o processo de qualidade metrológica. Pode-se também verificar que a própria metodologia de ALBERTAZZI E SOUSA, nos trás diversos requisitos metrológicos, tanto na etapa de aquisição dos requisitos das tarefas de medição, como na etapa de aquisição e análise dos requisitos metrológicos técnicos, logísticos e econômicos. Portando, mesmo implícito na metodologia de

ALBERTAZZI E SOUSA, deve-se ter conhecimento da visão sistêmica destes requisitos, que trazem a obtenção da confiabilidade metrológica. Tendo conhecimento destes requisitos metrológicos e uma visão sistêmica do processo de qualidade metrológica, deve-se, como é sugerido na 3ª recomendação, a abordagem investigativa de novos requisitos metrológicos, na obtenção de informações destes, como as de recursos humanos, mensurando, aplicações de normas e sobre a elaboração de procedimentos e documentos. Após o levantamento das informações dos requisitos metrológicos, a 4ª e 5ª recomendação sugere, através das normas ISO 9001/2/3, citadas por SOARES e sintetizadas nesta proposta, a obtenção da confiabilidade metrológica a partir destes requisitos metrológicos. Como visto na 4ª recomendação, a realização e/ou a existência de auditorias e programas interlaboratoriais e outros métodos conferem a aquisição da confiabilidade metrológica requerida, como exemplos: a exigência de fornecedores de Sistema de Medição, em estabelecer e manter procedimentos documentados para controlar, calibrar e os equipamentos de inspeção, medição e ensaios, na realização de calibrações periódicas, registros destas calibrações, métodos de controle da qualidade metrológica e outros.

Para apoiar a obtenção da confiabilidade metrológicas através das recomendações 1 a 5, foi elaborada a 6ª e 7ª recomendação que sugere a eliminação dos erros de operador (erros pessoais grosseiros, aleatórios e sistemáticos). A sugestão da aplicação destas recomendações é mencionada em processos não destinados ao controle de qualidade e a utilização de critérios técnicos de desempenho como a linearidade e repetibilidade/reprodutibilidade. Com relação às influências do operador, a Norma ISO 10012, citada, mas não sintetizada neste trabalho, traz a recomendação de que ao medir e utilizar os resultados devem ser levadas em considerações todas as contribuições significativas na incerteza do processo de medição. Já a 6ª recomendação sugere a capacitação técnica e a conscientização da “importância da medição”, reduzindo os diversos tipos de erros do processo de medição. Com relação às características de desempenho dos métodos e instrumentos de medição devem ser verificados na 7ª recomendação, a identificação de requisitos metrológicos técnicos (linearidade, reprodutibilidade, etc.) e que podem ser inseridos nas planilhas de avaliação de critérios técnicos de ALBERTAZZI E SOUSA. Com relação à característica da linearidade, no exemplo citado desta proposta foi sugerida a utilização de instrumentos lineares.

Para a característica de reprodutibilidade e repetibilidade, conhecer o conceito e verificar a existência de tabelas de correção, se for o caso. Muitos outros critérios

podem ser adicionados nos aspectos técnicos, logísticos e econômicos na metodologia de ALBERTAZZI E SOUSA, mas deve-se verificar sempre a confiabilidade requerida na estratégia da qualidade. Como foi visto na revisão teórica, a grande variedade e complexidade dos Sistemas de Medição, cada qual com suas características e aplicabilidades, conferem a confiabilidade desejada, somente se o mesmo for o analisado, selecionado para determinada aplicação, de acordo com os critérios ou requisitos metrológicos já vistos neste trabalho.

As recomendações afetam a seleção dos sistemas de medição, pois a própria seleção, aceitação e análise dos Sistemas de medição é um dos elementos ou requisito metrológico do Sistema de Garantia da Qualidade interligado a todos os demais requisitos envolvidos (apresentado na Fig. 31 do Capítulo 3), como tolerâncias específicas, especificações e aplicação, treinamento em metrologia, incerteza de medição, calibrações e ajustes, ISO 9001/2/3, normas específicas, rastreabilidade, variação no processo e outros. Todos os requisitos metrológicos são interconectados e interagem entre si para a garantia da Qualidade Metrológica e para a obtenção da confiabilidade metrológica. Mesmo sendo a seleção de um sistema de medição como situação presente e a maioria das recomendações (de 1 a 6) são de eficácia futura, dentro do processo de medição na organização, a seleção se torna eficiente em um ciclo contínuo de qualidade, composto de planejamento, monitoramento, execução e auditoria dos instrumentos de medição. As informações passadas advindas deste processo de qualidade adquirido, se tornaram importantes para a futura seleção dos sistemas de medição, no ciclo contínuo da qualidade metrológica.

## 4.2 TRABALHOS FUTUROS

Com relação aos trabalhos futuros sugere-se adicionar a esta proposta novas recomendações à metodologia de Seleção de Sistemas de Medição de ALBERTAZZI e SOUSA e a proposta em questão, com relação às Normas da Série ISO 9001/2/3, recomendações técnicas, novas características/critérios de desempenhos dos instrumentos de medição (adicionados nos aspectos técnicos de avaliação), parte de outros métodos e outras boas práticas metrológicas. Também se sugere a validação quantitativa da proposta de melhorias com a metodologia de ALBERTAZZI e SOUSA, através da segunda parte da metodologia de pesquisa triangular (apresentada no item materiais e métodos deste trabalho), na qual, não é contemplada nesta dissertação. Outra sugestão é dar uma atenção especial com

relação à vasta gama de aplicações específicas relacionados aos diversos tipos de Sistemas de Medições existentes no mercado, melhorando assim a qualidade da seleção destes sistemas. Portanto, um provável trabalho futuro seria desenvolver um guia de boas práticas metrológicas na análise, seleção e aquisição dos Sistemas de Medição, contemplando os comentários anteriores (recomendações normativas e requisitos metrológicos, verificar estudos com a norma ISO 10012-1, que traz recomendações de que medir, ao medir e utilizar resultados, levando em consideração todas as contribuições significativas na incerteza do processo de medição), com a diversidade e aplicabilidade dos Sistemas de Medição.

## REFERENCIAS

ACOSTA, Simone M. **Notas de aulas em slides (arquivo eletrônico) do curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial.** UTFPR. Disponível em: <[http://www.daeln.ct.utfpr.edu.br/arquivos/7-transparencias\\_nivel.pdf](http://www.daeln.ct.utfpr.edu.br/arquivos/7-transparencias_nivel.pdf)>. Acessado em 9 de Fevereiro de 2011.

ALBERTAZZI, Armando; SOUSA, Andre R.de. **Fundamentos de Metrologia científica e industrial.** Barueri. SP: Manole, 2008.

BEGA, Egídio Alberto. **Instrumentação Industrial.** Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

BOLTON, Willian. **Instrumentação & Controle. Sistemas – Transdutores – Sistemas de Controle – Condicionadores de Sinais – Unidades de Indicação – Sistemas de Medição – Respostas de Sinais.** Editora Hemus, 2005.

CAMPILHO, Aurélio. **Instrumentação Electrónica. Métodos e Técnicas de Medição.** Feup Edições, 2000.

CARVALHO, Luciana A.;FROTA, Maria E. A.;FROTA, Maurício N. **Educação Metrológica: a experiência brasileira. Metrologia & Instrumentação.** São Paulo, v.2, n.15, 2002.

DARRIGO, Silvia. R. **Desenvolvimento de Modelos do comportamento metrológico estático de instrumentos de medição.** (Dissertação de Mestrado). UFSC. 2001.

FERRAZ, Fernando T.; SILVIA, Luzia G. **A metrologia Legal como diferencial de qualidade para os instrumentos de medição em um mundo globalizado.** In: Congresso da Qualidade em Metrologia, 8., São Paulo: 2008.

FIALHO, Arivelto B. **Instrumentação Industrial: Conceitos, Aplicações e Análises.** Érica. São Paulo. SP. 2002.

FROTA, Mauricio N.(Org.). **Expressão da Incerteza de Medição na Calibração.** Versão brasileira da publicação EA-4/02 (Serie brasileira de publicações em Metrologia). Rio de Janeiro: Inmetro, ABNT, SBM, 1999.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4ª ed. São Paulo:Atlas, 2002.

\_\_\_\_\_. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 5ª ed. São Paulo: Atlas, 1999.

LIMA, Manolita C. **Monografia. A Engenharia da Produção Acadêmica.** 2ª ed. Saraiva, 2008.

OLIVEIRA, Otávio J.; *et al.* **Gestão da Qualidade.** Tópicos avançados. Editora Cengage Learning, 2003.

PARANHOS FILHO, Moacyr. **Gestão da Produção Industrial.** Curitiba: Ibplex, 2007.



ROSADOS, Helen B. F. **Uso de Indicadores na Gestão de Recursos da Informação.** Revista de Biblioteconomia e Ciência da Informação. Campinas. v3. n.1. p-60-76. Jul/Dez. 2005.

SALOMON, Décio V. **Como fazer uma monografia.** 2ª ed. São Paulo. 1991.

SOARES, L. J. **Confiabilidade Metrológica no Contexto da Garantia da Qualidade Industrial: Diagnóstico e Sistematização de Procedimentos.** (Dissertação de Mestrado em Metrologia). UFSC. 1999.

SOISSON, Harold E. **Instrumentação Industrial.** Editora Hemus, 2002.

SOUSA, P. K.; SOBRINHO, M. D. A. **Instrumentos de medida de Sistemas de Instrumentação.** (Apostila do Instituto de Pesquisa Hidráulicas, pré-livro). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. UNESP. dez. 2005.

SCHIRIGATTI, Jackson L. **Proposed recommendations for improvement on a methodology for the selection of measurement systems.** (Artigo científico). ISA USA Week. 2011.

SERENO, Helton R.S; SHEREMETIEFF JR, Alexandre. **Guia para elaboração de um plano de manutenção da confiabilidade metrológica de instrumentos de medição – Escolha dos Instrumentos de medição.** In: Metrosul – Congresso Latino Americano de Metrologia, 5., Curitiba, 2007.

SILVA, Mário A. F. da. **Ensaio de proficiência na acreditação de laboratórios de calibração: Investigação das causas-raiz de resultados insatisfatórios.** 158f. (Dissertação de Mestrado de Gestão). UFF, Niterói, 2009.

SILVA, Maurício Evangelista da. **Garantia metrológica na medição do volume: uma proposta de metodologia de atuação.** 141f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão). UFF. Niterói. 2004.

SILVA, Luzia G. **Proposta de sistematização do processo de garantia metrológica para instrumentos de medição.** (dissertação apresentada ao curso de Mestrado da Universidade Federal Fluminense/Divisão de Instrumentos de Medição de Fluidos). Acervo Digital INMETRO. UFF. 2006.

TORREIRA, Raul P. **Instrumentos de Medição Elétrica.** Para Eletricistas, Engenheiros, Técnicos, Mecânicos e Engenheiros de Manutenção. Curitiba: Hemus, 2002.